

硅冶炼烟气减量化的分析与探讨

吕 钧¹ 王忠顺¹ 张玉杰² 王 姣²

(1. 芒市永隆铁合金有限公司, 云南 芒市 678400; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘 要] 本文介绍了工业硅冶炼烟气的特征、硅冶炼烟罩的发展以及现在主流矮烟罩的结构,从矮烟罩的几何尺寸设计和烟气压力调控,以及密闭炉盖方面,分析烟气减量化的技术可行性,阐明要减少硅冶炼烟气的排放量,仅通过调整烟罩的操作不能实现,需要通过冶炼工艺提升、生产自动化程度提高和新型材料应用方可实现。

[关键词] 硅冶炼; 烟气减量; 烟罩; 矿热炉; 密闭炉; 全封闭冶炼

[中图分类号] TF806.7; TQ127.2 [文献标志码] B [文章编号] 1008-5122(2021)03-0064-03

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.03.016

Analysis and Discussion of Flue Gas Reduction in Silicon Smelting

LV Jun, WANG Zhong-shun, ZHANG Yu-jie, WANG Jiao

Abstract: This paper introduced the characteristics of industrial silicon smelting flue gas, the development of silicon smelting fume hood and the structure of the mainstream low smoke hood. From the geometric size design and flue gas pressure control of the low smoke hood, and the closed furnace cover, the technical feasibility of flue gas reduction was analyzed. It was pointed out that reducing the emission of silicon smelting flue gas can not be realized only by adjusting the operation of the smoke hood. It was necessary to improve the smelting process and the level of production automation, and apply new materials.

Key words: silicon smelting; off-gas reduction; smoke hood; smelting electric furnace; closed furnace; fully closed smelting

0 前言

国内工业硅产能主要分布在新疆、甘肃、云南、四川、福建等地。伴随着工业硅行业技术装备的发展和国内相关环保政策的出台,工业硅矿热炉的烟气治理措施已成为影响我国工业硅企业能否生存和发展的重要因素。国内工业硅生产主要采用半封闭矿热炉。一直以来,工业硅生产漏风率高、烟气排放量大的问题一直令人诟病。

烟罩是工业硅矿热炉设备的重要部分,烟气的收集、烟气量的控制都是通过烟罩实现。因此,本文通过分析烟罩的设计、烟罩风压的控制,阐述硅冶炼烟气减量的可能性和途径。

1 工业硅生产烟气特点

1.1 烟气波动性

工业硅矿热炉冶炼过程中产生的烟气及烟尘成分受原料、冶炼操作的影响较大。生产原料混合还原剂的比例不同,产生的烟气量、烟气成分及烟气含尘量也会不同。

冶炼过程中,矿热炉捣炉、加料及出现塌炉和刺火时,烟气量及烟气成分都会发生变化。总体看,出硅前期生成的烟气量较大,后期烟气量减少。由于我国工业硅企业原材料来源比较杂,原材料成分受不同产地及批次的影响较大,即便是同一座矿热炉,

[收稿日期] 2021-04-10

[基金项目] 国家重点研发计划(2018YFC0213403)

[作者简介] 吕钧(1977—),男,本科,浙江建德人,工程师,从事工业硅冶炼生产管理、技术研发工作。

[引用格式] 吕钧,王忠顺,张玉杰,等. 硅冶炼烟气减量化的分析与探讨[J]. 有色冶金节能,2021,37(3):64-66.

不同时间段的烟气成分不同。

1.2 余热回收利用方式

工业硅矿热炉冶炼过程中产生的烟气的温度较高,一般达450~600℃,需要采取空冷设施或余热锅炉降温后才能进入布袋除尘器。目前为了实现能源的循环利用,新建企业大部分采取余热锅炉回收余热的方式进行烟气降温,部分小规模装置采用烟气漏风降温后进入布袋除尘器的方式。

1.3 烟尘特性

烟气中烟尘的主要成分为SiO₂,被称为微硅粉。其中粒径在1 μm以下的颗粒占到70%,具有黏附特性和高热阻特性,严重影响收尘、脱硫、脱硝方式的选择。

微硅粉属于PM_{2.5}级的大气污染物,一般需要采用高效的除尘器净化才能保证达标排放。微硅粉虽然对人类的健康影响极大,但回收净化后可应用于多个领域,是重要的微纳米级无机非金属材料。

1.4 成分特性

硅生产所用的矿热炉按冶炼工艺可分为非全煤冶炼矿热炉和全煤冶炼矿热炉。非全煤冶炼工艺烟气含水量较少,还原剂均经过净化处理,原料几乎不含硫化物,所以烟气成分中硫化物也较少。全煤工艺中,煤的主要还原剂为精洗煤,整个过程消耗更多氧气,烟气含水量更高。煤中全部的硫被氧化成SO₂气体,如不处理,绝大多数无法达标排放。

与烟气中的SO₂全部来源于原料不同,硅冶炼烟气中的NO_x的形成远比SO₂复杂,与燃烧方式关系密切。目前实测烟气中NO_x的排放浓度多在200 mg/Nm³以内^[1]。

2 硅冶炼烟气减量化途径分析

烟罩是工业硅冶炼矿热炉设备的重要组成部分,主要作用如下:1)捕集工业硅生产过程中产生的烟气,减少烟气中冷空气的混入量;2)改善冶炼操作条件;3)回收烟气中的微硅粉。

2.1 高烟罩

早期工业硅冶炼在敞口式矿热炉中进行,冶炼料面直接暴露在空气中,机械化程度低,对环境污染大,工人劳动条件恶劣^[2]。随着工业硅冶炼技术的不断发展,工业硅矿热炉的烟气收集经历了高烟罩时期和半封闭矮烟罩时期。

20世纪50~60年代,工业硅冶炼的工业污染控制技术采用高烟罩。高烟罩是在炉口正上方悬吊

一个钢制结构集气罩,其直径和矿热炉口直径相当,高烟罩和炉口之间留有一定空间,供工人操作。高烟罩的使用在一定程度上抑制了生产过程对环境的污染,在烟气捕集和改善操作条件方面产生一定的效果^[3],但高烟罩吸入冷空气量大,对除尘系统的处理量要求也提高,并且高烟罩在冶炼过程及操作中仍存在烟气外溢状况,作业环境仍然不理想。

2.2 工业硅矮烟罩

随着矿热炉技术的不断发展,20世纪70年代,工业硅生产厂家普遍通过技术改造和更新换代等方式将烟罩改为半封闭矮烟罩。与高烟罩相比,矮烟罩具有非常明显的优点:1)通过应用水冷系统,极大降低了烟罩的外壁温度,在提高设备使用寿命的同时,减少对周围环境的热辐射;2)在满足生产过程中的加料、拨料和捣炉操作的同时,有效减少冷空气的进入量。矮烟罩的使用可减少烟气量,提高烟气温度,有利于烟气的余热利用和烟气净化装置规模的缩小,有效地实现烟气减量。

2.2.1 工业硅矮烟罩的结构

受国家产业政策的制约及工业硅生产所需碳素电极的影响,目前我国工业硅冶炼矿热炉容量主要为25 000 kVA、27 000 kVA、33 000 kVA。目前国内这三种炉型的烟罩以水冷金属梁为骨架,骨架之间设置水冷盖板,盖板内部设置隔水挡板,盖板内侧喷涂或捣打耐火混凝土材料。金属骨架用于支撑耐火混凝土材料和水冷盖板的重量,同时承受电极把持器带来的附加作用力,整体构成一个刚性烟罩。烟罩顶部设置电极孔和烟气排出口,烟气排出口与矿热炉烟道连接,烟气通过烟道进入除尘系统进行烟气净化处理。烟罩侧壁和炉门均采用循环水冷却,侧壁和炉门喷涂或捣打耐火混凝土。侧壁固定在烟罩骨架上,炉门的升降采用液压式提升机构控制。在工业硅冶炼过程中,为了防止烟气外溢,烟罩内压力始终保持为微负压(-100~0 Pa)状态。

2.2.2 矮烟罩的烟气减量控制

2.2.2.1 烟罩尺寸

烟罩材质、高度、直径及炉门高度是影响烟罩集气效果的关键参数。以典型的33 000 kVA工业硅冶炼矿热炉为例,其烟罩参数如下:烟罩高度为3 200 mm;烟罩内切圆直径为1 024 mm;炉门高度为2 000 mm。

影响并决定这些关键参数的因素主要包括:1)工业硅冶炼所需捣炉、加料、拨料的操作空间;2)工业硅矿热炉电极系统的检修空间;3)工业硅电炉的

炉壳直径参数。在满足上述操作及几何参数匹配的条件下,烟罩高度越低,生产过程中混入的空气量越少,越有利于烟气除尘及余热回收利用。

与高烟罩相比,目前工业硅生产电炉采用的半封闭矮烟罩虽然高度有所降低,而且增加了侧壁及炉门,冷空气的混入量和烟气量都大大减少,但通过分析生产企业目前的烟气量、烟气成分及反应生产热平衡,发现混入的空气仍带走大部分烟气余热,如果能通过改造冶炼工艺操作降低炉门高度从而减少烟气中冷空气的带入量,对于工业硅整个行业甚至铁合金行业的余热回收,将有革命性的推动意义。

2.2.2.2 压力控制

在工业硅生产中,每生产 1 t 工业硅大约产生 3 700 Nm³ 炉气,其主要成分为 CO,含量为 60% ~ 80%,其次是 H₂ 和 H₂O,发热值约 14 000 kJ/Nm³。冶炼时,炉气穿过料层进入烟罩,其中的 CO、H₂ 与空气接触燃烧后生成烟气。因此,烟气量的大小及温度高低与混入空气量的大小有直接关系。决定工业硅冷空气混入量的主要因素有烟罩设备的耐热极限和炉内压力控制。

烟罩内混入的空气量必须满足:1)空气与冶炼产生的炉气完全燃烧;2)混入空气带走的热量能够降低烟罩内烟气的温度,保证烟罩的使用寿命。在保证满足以上条件的基础上,通过调整炉压控制空气的混入量,维持炉膛内部的压力稳定在合理的范围内是保持电炉正常工作的必要条件之一。炉内压力的调节可通过控制连接烟道的除尘风机的压力实现。烟罩内和烟道内的设计烟气压力和流速见表 1,操作中据此调节压力,控制烟气不外溢,维护车间生产操作环境。目前工业硅生产企业在生产稳定的状况下,烟气温度平均控制在 600 ℃ 左右,在这种状况下,烟罩平均使用寿命为 10 年。

因此,从炉压调控的角度考虑烟气减量化,是在满足烟罩材质的耐火度、保证烟罩使用寿命的基础上控制空气的混入量。

表 1 烟罩系统各部位压力

部位	静压/Pa	流速/m·s ⁻¹
烟罩内部	-40.0	0.5 ~ 1.0
烟道口	-80.0	>17.0
炉门处	-40.0	>2.0

2.3 全封闭冶炼工艺的可行性分析

工业硅冶炼烟气量减量最理想的状况是实现工

业硅的全封闭冶炼,烟气集气罩采用密闭炉盖的形式。密闭炉盖对矿热炉烟气起密封作用,防止 CO 气体外逸。炉盖采用 U 型梁支撑机构,炉盖盖板安装在吊杆上,采用分体式水冷结构,下部浇注耐火材料,以减少烟气向炉盖的传热,盖板之间采用绝缘螺栓连接,炉盖下沿与炉体之间采用绝缘板密封,炉盖上设有电极开孔、烟道开孔、加料孔、防爆孔及检修孔。

目前密闭炉盖冶炼主要用在锰系、铬系合金的冶炼上。无法应用于工业硅冶炼的主要原因在于工业硅冶炼所用硅石中的硅发粘,料面容易结壳,在冶炼过程中需要将壳捣碎,这项操作需由外部捣炉机辅助完成,因此炉盖不能完全封闭。

如使用密闭炉盖冶炼工业硅,可设置监控系统,通过炉盖内的摄像头观察炉盖内料面的情况,一旦料面结壳,利用安装在炉盖内部的全自动捣炉机械设备进行捣炉操作。但炉盖顶部温度为 600 ~ 800 ℃,在刺火状态下瞬间温度达到 1 200 ℃ 以上,且烟气内的 SiO 发粘,容易附着在摄像头上,影响摄像头的成像,干扰冶炼操作,因此要采用有效措施清理监控。

采用密闭炉盖冶炼工业硅,也可以通过采用旋转壳结构的矿热炉,使炉灶能松动移向炉心,防止料面结壳。这样烟气逸出均匀,减少刺火等异常现象出现,实现烟气的减量化和余热充分回收^[4]。

3 结束语

综上所述,采用半密闭式炉型是由于工业硅生产过程料面结壳等特性决定,也是考虑设备材料耐温性的综合选择。无论采用压力调控,还是采用密闭炉型的方式实现烟气减量化,都是冶炼工艺提升、生产自动化程度提高和新型材料应用的结果,仅通过操作调整一个环节不能实现烟气的减量化。在改善生产操作环境、减排二氧化碳的大背景下,提高工业硅生产自动化水平,通过烟气减量实现余热回收、减少二氧化碳排放将是必经的革新之路。

[参考文献]

- [1] 左鹏.工业硅电炉烟气脱硝方案的选取[J].冶金动力,2019(5):1-3,12.
- [2] 曹建,袁熙志.我国矿热炉矮烟罩的现状和发展[J].铁合金,2004(5):32-36.
- [3] 曹建.矿热炉无水冷骨架矮烟罩的设计与研究[D].成都:四川大学,2005.
- [4] 张子佳,夏令,宋少先.硅铁的冶炼技术与应用进展[J].现代矿业,2020,36(4):102-105,109.

锅炉炉排风仓细灰排放问题分析及改进方案

贾东生

(浙大宁波理工学院, 浙江 宁波 315100)

[摘要] 针对阜康冶炼厂锅炉炉排风仓存在的积灰严重、燃烧面异常拱起、排灰门不能正常关闭等问题进行分析,提出了分时段检查鳞片式炉排、控制燃煤质量、封堵炉体漏风点位、排灰门采用气动排灰方式等措施。措施实行后,彻底解决了炉排下部风仓积灰严重、搭桥、板结等影响锅炉送风和漏风的问题,大大改善了锅炉的燃烧工况,也提高了锅炉的燃烧效率。

[关键词] 锅炉炉排; 风仓; 排灰门; 燃煤质量; 蒸汽除灰

[中图分类号] TF803.1; TK2 [文献标志码] B [文章编号] 1008-5122(2021)03-0067-03

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.03.017

Analysis and Improvement Scheme of Fine Ash Emission in Boiler Exhaust Chamber

JIA Dong-sheng

Abstract: This paper analyzed the problems of serious ash deposition, abnormal arching of combustion surface and abnormal closing of ash discharge door in the boiler exhaust chamber in Fukang smelter, and put forward some measures such as checking the scale type furnace exhaust in different periods, controlling the quality of coal combustion, blocking the leakage points of furnace body, and adopting pneumatic ash discharge method for ash discharge door. After the implementation of the measures, the problems affecting the air supply and air leakage of the boiler, such as serious ash deposition in the lower air bin of the grate, bridging, and slabbing, were completely solved, which greatly improved the combustion conditions of the boiler and the combustion efficiency of the boiler.

Key words: boiler Grate; air chamber; ash discharging gate; coal quality

0 前言

阜康冶炼厂隶属于新疆新鑫矿业股份有限公司,是以喀拉通克铜镍矿及和鑫矿业等为资源依托,集铜、镍、钴及新型材料于一体的新疆有色金属冶炼生产基地,发展至今,主要产品电解镍规模达到1.3

万t,电解铜规模达5000t,电钴规模达100t。

冶炼厂建厂初期,设计安装了两台CG-35/39-MI型电站锅炉,用于厂区冶炼工艺的生产供汽、生活用汽及厂区冬季采暖等。自开车调试以来,锅炉本体设备及锅炉辅机设备陆续发生了一些设备故障,经过相关专业人员的精心调试,锅炉设备在低负荷运行期间的运行基本正常,但当锅炉负荷大于85%运行时,炉排下部风仓细灰排放系统经常出现故障,导致锅炉不能正常供汽。本文通过分析锅炉炉排下部风仓细灰排放系统存在的问题及原因,针对性地提出整改措施,解决了锅炉热态时风仓排灰门操作机构出现故障的问题,使锅炉保持稳定运行。

[收稿日期] 2021-01-27

[作者简介] 贾东生(1964—),男,山东昌邑人,在职研究生,高级工程师(专技六级),主要从事锅炉节能技术研究。

[引用格式] 贾东生. 锅炉炉排风仓细灰排放问题分析及改进方案[J]. 有色冶金节能,2021,37(3):67-69.