

耐高温烟气金属电袋复合除尘器在氢氧化铝焙烧炉超低排放中的应用

王向伟^{1,2}

(1. 中铝郑州有色金属研究院有限公司, 河南郑州 450041;
2. 河南华慧有色工程设计有限公司, 河南郑州 450041)

[摘要] 根据国家超低排放的要求,分析了常规的电除尘器、布袋除尘器、电袋复合除尘器处理氢氧化铝焙烧炉烟气的局限性,提出耐高温金属滤袋电袋复合除尘器是目前实现氢氧化铝焙烧炉烟气达到超低排放的最佳选择,并详细分析了耐高温金属滤袋电袋复合除尘器的原理及技术特点。以某氧化铝厂氢氧化铝焙烧炉电除尘器改造为电袋复合除尘器的具体工程实践为例,介绍了耐高温金属滤袋电袋复合除尘器改造的技术方案及应用效果。工程实践应用表明,采用耐高温金属电袋复合除尘器,除尘器出口粉尘排放浓度低于 5 mg/Nm^3 ,除尘器最大阻力小于 800 Pa ,完全符合国家超低排放要求。耐高温金属滤袋电袋复合除尘器综合了电除尘器和袋式除尘器的优点,不受燃料和粉尘性质限制,对微细超细粒子的捕集效率高,具备适用范围广,耐高温、耐腐蚀,除尘效率高,运行阻力相对较低的优势。

[关键词] 氢氧化铝焙烧炉; 高温烟气; 电除尘器; 布袋除尘器; 电袋复合除尘器

[中图分类号] TF821; X758

[文献标志码] B

[文章编号] 2097-2423(2023)06-0039-05

DOI:10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2023.06.007

0 前言

目前,国内氧化铝企业的氢氧化铝焙烧主要采用气态悬浮焙烧炉,炉内为负压,炉尾部配置一台电除尘器。电除尘器进口烟气粉尘含量大约为 100 g/Nm^3 ,经过电除尘器除尘后粉尘排放浓度设计值为不大于 50 mg/Nm^3 ,但实际生产中粉尘排放浓度常常达到 $50\sim 100\text{ mg/Nm}^3$ 。氧化铝企业排放的粉尘是我国大气污染物的重要来源之一,《铝工业污染物排放标准》(GB 25465—2010)^[1]对氢氧化铝焙烧炉烟气颗粒物排放限值作了明确要求。随着国家节能减排、超低排放工作的全面推进,国家环境保护部于2013年底发布了第79号公告,对《铝工业污染物排放标准》进行了修改,要求重点地区氧化铝

企业的氢氧化铝焙烧炉烟气颗粒物排放按限值 10 mg/m^3 (标况)执行。鉴于此,国内大部分氧化铝企业都面临颗粒物排放超标的问题。因此,为保证氧化铝企业生产的正常进行,对现有焙烧炉除尘系统进行技术升级改造,达到超低排放要求,是氧化铝企业势在必行的头等大事。

1 氢氧化铝焙烧炉实现烟气超低排放的技术选择

1.1 氢氧化铝焙烧炉烟气的特点

氢氧化铝焙烧炉烟气成分及粉尘粒径分布分别见表1、表2。

表1 氢氧化铝焙烧炉烟气成分

主要成分	H ₂ O	CO ₂	O ₂	N ₂	CO
含量/%	35~50	6~8	2~5	45~55	微量

表2 氢氧化铝焙烧炉烟气中粉尘粒径分布

粒度/mm	>0.15	0.15~0.1	0.1~0.045	0.045~0	加权平均粒径
比例/%	6.5	37.4	35.8	20.3	0.087 mm

氢氧化铝焙烧炉烟气粉尘具有如下特点。

[收稿日期] 2023-09-03

[作者简介] 王向伟(1970—),女,河南荥阳人,大学本科,高级工程师,主要从事压力容器、大型槽罐、工业窑炉以及环保设备的设计开发工作。

[引用格式] 王向伟. 耐高温烟气金属电袋复合除尘器在氢氧化铝焙烧炉超低排放中的应用[J]. 绿色矿冶,2023,39(6):39-43.

1)湿度大。氢氧化铝含 10% 左右的附着水,加上氢氧化铝焙烧所产生的结晶水,都随烟气经除尘器排出,烟气中含水率通常为 30% ~ 50%。

2)微细粉尘多,比电阻高^[2],不易被收集。

3)高温。在机组正常运行时,尾部烟气的温度一般为 150 ℃ 左右,但是在炉子启动或异常情况下,尾部烟气温度最高能达到 350 ℃。

4)粉尘浓度高。除尘器入口粉尘浓度设计值一般为 50 g/m³ (标况),实际生产中粉尘浓度经常达到 100 g/m³ (标况),甚至更高。

1.2 氢氧化铝焙烧炉烟气净化除尘技术分析

目前,烟气治理采用的高效除尘方式主要有电除尘、袋式除尘、电袋复合除尘。

1.2.1 电除尘

电除尘是氧化铝生产中应用最多的除尘技术,虽然具有烟气处理量大、设备阻力低等优点,但其除尘效率受粉尘性质的影响较大,特别是对于氧化铝烟气这种高比电阻的微细烟尘,捕集效率低,且氧化铝烟气比电阻高,易产生反电晕,即使增加到 5 电场、6 电场,也难以达到特别排放限值(10 mg/Nm³)要求,导致排放超标,正常生产难以为继^[3]。

1.2.2 袋式除尘

袋式除尘属于过滤除尘,捕集效率高,其性能受粉尘性质影响小,适用于含尘浓度较低的烟气工况。氢氧化铝焙烧炉除尘器入口粉尘浓度高达 100 g/Nm³,导致除尘器阻力大,引风机能耗高,粉尘对滤袋冲刷严重,滤袋破损快。另外,氢氧化铝焙烧炉烟气温度较高,常规的纤维滤料布袋耐高温能力有限,260 ℃ 以上高温烟气会对纤维滤料(如 PPS、PTFE、PI 等)构成极大的危险,容易出现滤袋高温烧损问题^[4-5],无法保持长期稳定的烟尘排放指标。因此,袋式除尘也不适用于氢氧化铝焙烧炉烟气的处理。

1.2.3 电袋复合除尘

电袋复合除尘器是静电除尘和袋式过滤除尘有机结合的复合除尘器,分为电场区和滤袋区^[5]。在电场区,利用静电除尘原理,对含尘气体中的粉尘进行预荷电和预除尘,除去大量的粉尘,降低烟气的含尘量;在滤袋区,安装滤袋和清灰装置,用于过滤未被电场捕集的微细粉尘,保证烟气达标排放。

电袋复合除尘器自 21 世纪初期在国内开始应用,近 20 年来在电力行业得到广泛应用,除尘性能长期高效稳定,运行阻力低,滤袋使用寿命长。但是

由于氢氧化铝焙烧炉烟气温度高会造成布袋的烧坏,因此,电场 + 布袋的复合除尘净化技术不能用于氢氧化铝焙烧炉烟气处理。耐高温金属滤袋电袋复合除尘器是在常规电袋复合除尘器的基础上,采用耐高温的金属滤袋替代传统纤维布袋的一种新型的电场 + 金属滤袋复合除尘器。由于金属滤袋采用耐高温不锈钢材质,除尘性能稳定,耐高温金属滤袋电袋复合除尘器适用于高温烟气工况,是目前实现氢氧化铝焙烧炉烟气超低排放的最佳选择。

2 耐高温金属滤袋电袋复合除尘器的原理及技术特点

2.1 耐高温金属滤袋的结构及原理

耐高温金属滤袋作为电袋复合除尘器的核心部件,它以金属纤维烧结毡或金属间化合物多孔膜为滤料,经焊接加工而成。金属纤维烧结毡采用直径为微米级的金属纤维经无纺成网、叠配、高温烧结而成;金属间化合物多孔膜是利用金属粉末在高温下能够产生柯肯达尔效应,从而在材料中形成孔隙而成。以金属纤维烧结毡滤料为例,滤袋由双面目数相同的金属丝网和中间纤维过滤层组合而成。其中的纤维过滤层是由超细纤维 + 粗纤维组成的复合结构,纤维的孔径呈阶梯型分布,如图 1 所示。该阶梯型层状结构的设计有利于滤饼形成,依靠滤料表层的超细纤维层对粉尘进行截留,只有少数细微颗粒进入滤料内部,但由于滤料内部“喇叭状”的特殊结构,这些颗粒不会在内部停留,而是被气流直接带走,滤料过滤精度高且保持较大的透风量,提高粉尘的捕集效率,降低设备运行阻力。

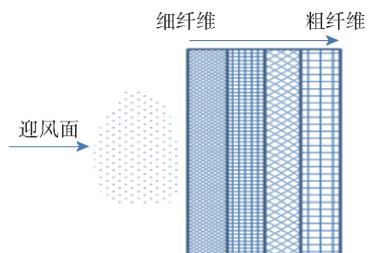


图 1 金属纤维过滤层结构图

2.2 耐高温金属滤袋电袋复合除尘器的技术特点

1)除尘效率高。耐高温金属滤袋电袋复合除尘器是电除尘器和袋式除尘器的复合体,分为电场区和滤袋区。在电场区,利用静电除尘原理,集尘板捕集了 70% ~ 80% 的粉尘(主要是大颗粒粉尘);剩余的 20% ~ 30% 未被电场捕集的荷电粉尘和未荷

电粉尘随烟气水平进入滤袋区过滤,含尘烟气通过滤袋外表面时,粉尘被阻留在滤袋的外部。由于在电场区捕集了大量的粉尘,滤袋区需要承担的烟气过滤负荷大为降低,除尘效率得到提高。

2)阻力小、寿命长、运行成本低。由于烟气中粉尘在电场区进行预荷电,未被电场捕集的细微颗粒粉尘带上同极电荷后产生相互斥力,使得沉积在滤袋表面的粉饼层呈现松散的凹凸不平结构,颗粒之间排列规则有序,粉饼层孔隙率高,透气性好,易于清理剥落。由于金属纤维过滤层孔径大小由外向内呈阶梯型分布,未被滤饼层过滤掉的超细粉尘,容易被气流带走,不会在过滤层停留。由于高温金属滤袋的这种特殊结构,烟气阻力明显减小,电袋复合除尘器的阻力低于纯布袋除尘器的阻力,一般为400~800 Pa,最大阻力不超过1 200 Pa。金属滤袋的清灰周期延长,喷吹频率降低,滤袋的使用寿命得以延长,金属滤袋电袋复合除尘器中滤袋的使用寿命在5年以上^[6]。由于电袋复合除尘器阻力小,作为排放出口的重要设备引风机需改造升级的幅度不大,既降低电耗,又减少了改造投资费用,同时由于滤袋寿命长,有效降低了运行成本,可谓一举多得。

3)电袋复合除尘器对细微颗粒和超细颗粒的捕集效果远胜于电除尘器。金属滤袋具有金属丝网和中间纤维过滤层,较大颗粒粉尘被阻挡在滤袋表面形成滤饼层,中间金属纤维过滤层具有极细的孔径,目前国内金属滤料孔径最小能达到1 μm,能够拦截的粉尘粒径≥1 μm。因此,耐高温金属滤袋电袋复合除尘器受烟气特性影响较小,对细微颗粒和超细颗粒的捕集效果大大优于电除尘器,粉尘排放浓度可长期稳定在10 mg/m³(标况)以下,如果选择适当的过滤风速,可实现5 mg/Nm³以下超净排放^[6]。

4)具有耐高温、耐腐蚀性能。耐高温金属滤袋电袋复合除尘器可在400~600℃高温环境下实现连续稳定过滤,同时可耐H₂S、SO₂、HF等气体腐蚀。

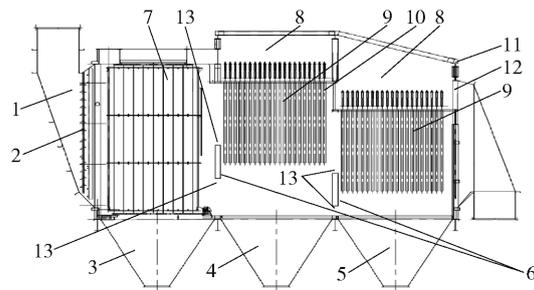
3 改造实践及应用效果

自2019年以来,河南焦作某氧化铝企业及河南郑州某矿业公司、云南某铝业公司氧化铝厂先后将氢氧化铝焙烧炉的电除尘器改造为耐高温金属滤袋电袋复合除尘器。以河南郑州某矿业公司的焙烧炉电除尘器改造工程实践为例,对净化改造技术方案和应用效果介绍如下。

3.1 焙烧炉电除尘器改造方案

该公司氧化铝焙烧炉原有电除尘器采用一室三电场电除尘器,由于电除尘器的原设计粉尘排放指标是小于30 mg/Nm³,加上电除尘器已运行十几年,年久失修,在实际运行中粉尘排放浓度常常达到50~100 mg/Nm³,远超国家超低排放要求。改造项目在满足原生产线工艺要求的前提下将电除尘器改造为耐高温金属滤袋电袋复合除尘器。主要技术改造方案:利用原电除尘器的设备基础和外部壳体及立柱、大梁等部件,在原有电场壳体内布置电场区和金属滤袋区,改造后除尘器各纵横跨距不发生变化,在满足既有生产线的空间布置的前提下实现烟尘超低达标排放。

电袋复合除尘器整体结构采用上进下出风形式,滤袋除尘区采用由前至后高度逐渐降低的阶梯状布置,含尘烟气经进气口进入进气封头,由气体分布板进入电场区,经电场区预除尘后,在除尘器出口引风机作用下,由前至后经二、三滤袋区后向上运动,经净气室、洁净烟气出口进入出气封头,离开除尘器。电袋复合除尘器内部结构改造方案如图2所示。



1-进气封头; 2-气体分布板; 3, 4, 5-灰斗; 6-导流板; 7-电场区; 8-净气室; 9-滤袋除尘区; 10-金属滤袋; 11-除尘器壳体; 12-洁净烟气出口; 13-导流板上下过风通道; 14-出气封头

图2 电袋复合除尘器内部结构改造方案

3.2 改造内容

1)原电除尘器进气封头和电场区部分。原电除尘器的进气封头和第1电场(包括沉淀极、电晕极及顶部保温箱、大梁、框架、框架附件)部分保留使用,气体分布板保留,沉淀极和电晕极振打装置根据现场使用情况,修复使用。

2)袋区部分。原电除尘器的第2、第3电场顶盖及大梁、保温箱、内件全部拆除,壳体加高,分别以原第2、第3电场为分区界线,布置两个滤袋区和净气室。过滤除尘采用外滤式,在壳体内适当

的高度设置花板,安装耐高温金属滤袋。过滤面积按照过滤风速不大于 0.9 m/min 考虑。喷吹系统采用固定行喷吹清灰技术,喷吹清灰压力 0.25 ~ 0.35 MPa。喷吹阀采用淹没式喷吹阀或柱塞式喷吹阀均可。

3) 烟气出口的改造。改造原电除尘器出气封头,在原第 3 电场与烟气出口封头之间设置隔墙,使净气室出口烟道与原烟气封头贯通连接,原电除尘器烟气出气封头与烟管的连接方式不变。

4) 电除尘器改为电袋复合除尘器后阻力增加,壳体承受负压增加。根据新的工况对原电除尘器壳体做整体强度核算。根据需要对除尘器壳体和进出口封头进行局部加固,加固措施分为增加内部网撑、加固立柱、壳体板加筋等。

5) 考虑整个电袋复合除尘器内部气流分配的均匀性,在电场区与滤袋区之间以及两个滤袋区之间分别设置了导流装置,合理分配风量,均布气流,保持合理的风速,减少气流对滤袋的直接冲刷,进而提高滤袋使用寿命。

6) 收尘器下部及排灰部分。除尘器下部原电收尘器设计的内部走台保留,增加中部走台。原灰斗及灰斗阻流板保留,排灰系统保留。

7) 设置独立的压缩空气储罐,在除尘器袋区两侧设置喷吹装置。

8) 电除尘器改为电袋复合收尘器后,系统阻力增加 400 ~ 1 200 Pa,通过对引风机的负荷进行重新核算,确定了引排风机的改造方案。

9) 电控部分。为增加第 1 电场的收尘效果,将第 1 电场区的高压电源改为三相高频电源;在更新电场区控制系统的基础上,新增袋区 PLC 控制系统,具备袋区喷吹控制、温度测量、压力测量、上位机通讯、现场控制等功能工作;第 1 电场区的振打和除尘器排灰部分的控制沿用原电收尘器的控制系统。

10) 因袋区喷吹用风,压缩空气用量的增加,核算原有的供气能力,如不能满足需求,需对原空压站进行扩容改造。

3.3 改造后技术参数

耐高温金属滤袋电袋复合除尘器主要技术参数见表 3。

3.4 改造后效果

河南郑州某矿业公司氢氧化铝焙烧炉电除尘器改为耐高温金属滤袋电袋复合除尘器后,自 2019 年至今已运行 3 年多,除尘器出口粉尘排放浓度指标

一直维持在低于 5 mg/Nm³,除尘器最大阻力小于 800 Pa,完全符合国家超低排放要求。调试期间焙烧炉烟气测定数据见表 4。

表 3 耐高温金属滤袋电袋复合除尘器主要技术性能参数

考察项	指标	取值
性能参数	处理烟气量(工况)/m ³ ·h ⁻¹	300 000
	正常烟气温度/°C	150 ~ 160
	瞬时最大烟气温度/°C	400
	入口含尘浓度/g·Nm ⁻³	≤100
	出口含尘浓度/mg·Nm ⁻³	≤5
	设备最大阻力/Pa	<1 200
	电除尘器有效通流面积/m ²	110
电场区	电场数/个	1
	同极间距/mm	400
	收尘极形式	480C
	电场烟气流速/m·s ⁻¹	0.76
	振打方式	机械振打
滤袋区	过滤面积/m ²	约 5600
	过滤风速/m·min ⁻¹	<0.90
	滤袋规格/mm	Φ160 × 7000
	滤料材质	耐高温金属滤袋
	清灰方式	脉冲清灰
	清灰气源	压缩空气
	气源喷吹压力/MPa	0.25 ~ 0.45

表 4 调试期间焙烧炉烟气测定数据

监测 编号	烟气温 度/°C	进口压 力/Pa	出口压 力/Pa	出口粉尘浓度/ mg·Nm ⁻³	NO _x 浓度/ mg·Nm ⁻³
1	145	-8 897	-9 134	3.49	37.44
2	160	-8 865	-9 111	3.29	35.30
3	150	-8 833	-9 244	2.06	17.99
4	158	-8 845	-9 256	2.10	20.03

4 结束语

耐高温金属滤袋电袋复合除尘器综合了电除尘器和袋式除尘器的优点,不受燃料和粉尘性质限制,对微细超细粒子的捕集效率高,具备适用范围广,耐高温、耐腐蚀,除尘效率高,运行阻力相对较低的优势,可有效地控制大气中 PM10 和 PM2.5 的浓度,避免可吸入颗粒物对大气的污染。工程应用实践证明,耐高温金属滤袋电袋复合除尘器技术适用于氢

氧化铝焙烧炉的高温烟气超低排放处理,效果显著,在其他工业窑炉高温烟气超低排放处理上具有较大的推广价值。

[参考文献]

- [1] 环境保护部. 铝工业污染物排放标准:GB25465—2010[S]. 北京:中国环境科学出版社,2010.
- [2] 张殿印,申丽. 工业除尘设备设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,2012.
- [3] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 电

除尘器:GB/T40514—2021[S]. 北京:中国标准出版社,2021.

- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 袋式除尘器技术要求:GB/T6719—2009[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [5] 赵海宝,王少权,伍致承,等. 铜冶炼高温电除尘试验研究[J]. 绿色矿冶,2023,39(2):19-23.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 电袋复合除尘器:GB/T27869—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2012.

Application of High-Temperature Flue Gas Resistant Metal Electric Bag Composite Dust Collector in Ultra-Low Emission of Aluminum Hydroxide Calciner

WANG Xiangwei

Abstract: According to the requirements of national ultra-low emissions, the paper analysed the limitations of the conventional electric precipitator, bag dust collector, electric bag composite dust collector in processing flue gas of aluminum hydroxide calciner, and put forward that the high temperature resistant metal electric bag composite dust collector is the best choice of aluminum hydroxide calciner to achieve ultra-low emissions, and analysed in detail the principle and technical characteristics of high temperature resistant metal electric bag composite dust collector. Taking one aluminum company's ultra-low emission reconstruction of aluminum hydroxide calciner as an example, the technical scheme and application effect were introduced. The engineering practice shows that using the high temperature resistant metal electric bag composite dust collector, the dust emission concentration at the outlet of the dust collector is less than 5 mg/Nm^3 , and the maximum resistance of the dust collector is less than 800 Pa, which fully meets the national ultra-low emission requirements. The high temperature resistant metal filter bag electric bag composite dust collector combines the advantages of electrostatic precipitator and bag filter. It is not limited by fuel and dust property, and has high capture efficiency for fine ultrafine particles. It has the advantages of wide application range, high temperature resistance, corrosion resistance, high dust removal efficiency and relatively low operating resistance.

Key words: aluminum hydroxide calciner; high temperature flue gas; electric precipitator; bag dust collector; metal electric bag composite dust collector