

冷凝再热技术在含铜固废处理厂 烟气消白中的应用

岳焕玲

(中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 湿法脱硫后烟气基本处于饱和状态,由于烟气中含有大量的水蒸气,一旦排入大气,与周围冷空气接触降温,会产生大量白烟。本文以某含铜固废处理项目为例,介绍工艺烟气和环境集烟两部分经过离子液法脱硫后的烟气成分,并经过消白方案比较,选择冷凝再热法,进而分析烟气消白设备的设计参数和冷凝再热消白技术的特点。生产实践表明冷凝再热技术不仅实现了水分、有害物质的联合回收,消白效果良好,基本全年无白烟、无拖尾现象,且不需要额外的热源,节约能耗,运行成本低。

[关键词] 烟气消白;湿法脱硫;直接加热法;烟气冷凝法;节能环保

[中图分类号] X701; TK229.6

[文献标志码] B

[文章编号] 1008-5122(2022)05-0073-04

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.05.015

0 前言

随着大气污染防治工作的不断推进,国内多个省份陆续发布了大气污染物特殊排放限值和相应的地方标准,无一例外地将“超低排放”写入了污染控制标准。据统计,目前公布大气污染地方标准的省份地区有5个,分别是河南、河北、上海、山东、浙江。其他地区也已陆续出台相关大气污染防治政策。在超低排放标准出台的基础上,上海、浙江、天津、河北邯郸等地为了继续深度减排,相继将有色烟羽纳入了地方监控范围,以达到消除烟囱“大白烟”的现象。

目前,国内湿法脱硫后的烟气基本处于饱和状态,含有大量水蒸气,一旦排入大气,与周围冷空气接触降温,会有大量小液滴冷凝析出,产生大量白烟。再者,湿烟气含有一定量的酸性成分和细颗粒物,在扩散过程中凝结析出的小液滴酸度较高,pH值一般为2~3,液滴飘落到地面会对周边形成环境污染。此外,“烟囱雨”、“白烟”等不仅造成大量水资源浪

费,还会形成明显视觉污染,影响企业形象。因此,消除烟囱白烟现象成为需解决的问题。

本文以某含铜固废处理项目为例,对湿法脱硫后湿烟气的消白技术进行探讨。

1 脱硫后湿烟气成分分析

某项目采用多台炉窑、多步骤处理含铜镍污泥、含铜固废、铜铈、紫杂铜和高品位杂铜等。烟气主要分为炉窑工艺烟气(简称“工艺烟气”)和环境集烟两部分。这两部分烟气成分不同,所以分别进入两套脱硫系统,脱硫工艺均采用离子液(有机胺)法。由于采用湿法烟气脱硫技术,烟气经过脱硫处理后含水量基本达到饱和,如果直接排放,白烟现象非常明显,因此加装了消白装置。

1.1 工艺烟气成分分析

工艺烟气经离子液脱硫后为饱和湿烟气,烟气温度约为42℃,烟气压力 ≤ 1.0 kPa,烟气中颗粒物含量 ≤ 20 mg/Nm³,烟气具体成分见表1。

1.2 环境集烟成分分析

环境集烟经离子液脱硫后为饱和湿烟气,烟气温度约为38℃,烟气压力 ≤ 1.0 kPa,烟气中颗粒物含量 ≤ 20 mg/Nm³,具体烟气成分见表2。

2 烟气消白现有技术

目前去除白烟的工艺大致有三类:

[收稿日期] 2022-04-25

[作者简介] 岳焕玲(1981—),女,河北邢台人,硕士,高级工程师,从事脱硫、脱硝及制酸工程设计工作。

[引用格式] 岳焕玲. 冷凝再热技术在含铜固废处理厂烟气消白中的应用[J]. 有色冶金节能,2022,38(5):73-76.

表1 工艺湿烟气成分

成分	SO ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	合计
流量/Nm ³ ·h ⁻¹	6.0	29 435.4	147 460.8	14 283.0	15 814.8	207 000.0
体积含量/%	0.002 9	14.220 0	71.237 1	6.900 0	7.640 0	100.000 0

注:烟气中不含氟氯离子

表2 环境集烟湿烟气成分

成分	SO ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	合计
流量/Nm ³ ·h ⁻¹	3.8	41 629.2	167 552.6	2 192.2	14 622.2	226 000.0
体积含量/%	0.001 7	18.420 0	74.138 3	0.970 0	6.470 0	100.000 0

注:烟气中不含氟氯离子

1) 湿烟气升温技术(加热法)。该技术主要通过直接或间接加热使湿烟气升温。湿烟气可以通过与高温烟气间接换热实现温度抬升至 80 ℃ 以上排放,也可以通过与高温烟气混合实现升温。该方法的主要优点是流程简单,但是在运行过程中,由于换热器结构的局限性,其密封性能不好,易发生泄漏、堵塞、腐蚀、串烟等问题,未能脱除烟气中的水分,消白不彻底。

2) 烟气降温后再升温技术(冷凝再热法)。该技术采用降温和升温两组换热器分离单独布置,能

解决堵塞、串烟问题,在降温段可将烟气中的水分脱除,然后再对烟气加热,消白效果好。

3) 湿式静电除尘除雾技术。该技术是通过高压电流分解空气分子,利用酸雾捕集极板聚集酸雾粒子,再利用重力作用收集酸雾从而达到去除酸雾的目的。但是该设备造价过高,运行过程中除雾器的极板极线易变形,导致除雾效率降低,环保要求高时维护困难。同时烟气进入该静电除雾器前,温度必须降至 50 ℃ 左右,要求较为严格。

上述三种技术路线对比^[1]见表 1。

表3 烟气消白技术路线对比

技术名称	技术类别	优点	缺点	消白效果
湿烟气升温技术(加热法)	间接换热加热	1) 环境温度 15℃ 以上基本能够消除湿烟羽	1) 不降低污染物排放总量 2) 环境温度低的时段,消白困难 3) 未能脱除烟气中水分,经济性差	冬季或气温低时不能消除白烟
	烟气混合加热	2) 能减轻烟卤腐蚀		
	烟道间接冷却	3) 能提升烟气抬升高度,有利于扩散		
烟气降温后再升温技术(冷凝再热法)	冷凝换热+再热	1) 能消除湿烟羽 2) 需再热温度低,经济性好	初始投资造价高	可彻底消除白烟
	喷淋降温+再热	3) 能减轻烟卤腐蚀 4) 能抬升烟气高度,扩散性好		
	喷淋冷凝+热风掺混	5) 回收水分、节约用水 6) 协同脱除多污染物		
湿式静电除尘除雾技术	直接去除	1) 流程简单	1) 不能彻底消除白烟 2) 投资较高	只能减轻白烟,不能彻底消除
	液滴	2) 技术成熟		

3 烟气消白技术方案选择

从表 3 对比可以看出,想要彻底消除白烟,最佳方案是采用冷凝再热法。烟气温度与烟气湿度的关系如图 1 所示。假设烟卤出口处湿烟气的状态位于 A 点以外的非饱和区域(接近 A 点),而环境空气的状态位于 B 点,湿烟气进入空气后开始向 A 点靠近,通过冷凝后烟气到达 D 点,然后通过加热将烟气达到 E 点。使烟气远离饱和和曲线,可有效避免白

烟产生^[2]。

湿烟气升温技术(加热法)、烟气降温后再升温技术(冷凝再热法)和湿式静电除尘除雾技术在工程上都已有应用,这些技术均通过调整排烟的温度和湿度来消除白烟^[3]。本工程采用冷凝再热法将白雾消除并回收余热,同时去除有害物质。该技术根据白烟产生的原理,通过降低烟气露点温度来消除白烟。要降低烟气露点温度,就要减少烟气的绝对含湿量。由露点温度的定义(含湿量不变的情况

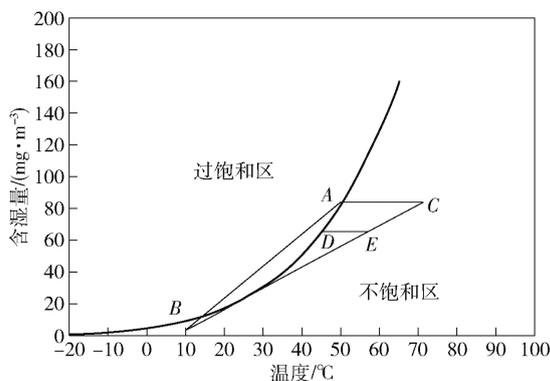


图1 温度与湿度关系曲线

下,气体达到湿饱和时的温度),若温度降低,烟气中的水蒸气就会结露析出,绝对含湿量就会减小,所以可以通过降低烟气温度至其露点来实现烟气中水分的收集。

烟气消白工艺流程如图1所示。经离子液脱硫装置洗涤降温、脱硫后,烟气基本处于饱和状态,通过高效换热器降温,凝结析出大量水分,同时释放大量潜热,利用潜热加热鼓入高效换热器内的环境空气,使其温度升高。降温脱水后的烟气与加热后的环境空气进入两个不同的烟道排放,在烟囱顶部再混合,混合后的烟气湿度大大降低,排出烟囱后的烟气温度短时间内达不到露点温度,因此烟气中水分不会凝结成水雾,进而达到消减白烟的目的。

结合实际情况,脱硫后烟气可与其他热源换热升温,加热后的环境空气也可以作为热源使用。

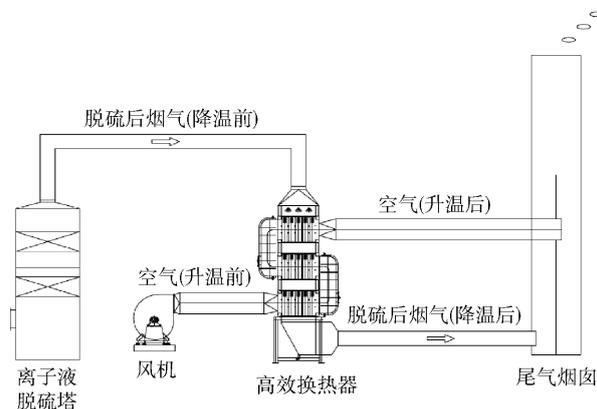


图2 冷凝再热烟气消白技术示意图

3.1 工艺烟气消白及效果

经离子液脱硫后的工艺烟气流量为 $207\ 000\ \text{Nm}^3/\text{h}$, 温度为 $42\ ^\circ\text{C}$ 。烟气从上而下经过高效换热器,与通过风机输送的 $300\ 000\ \text{Nm}^3/\text{h}$ 环境空气进行间接换热,烟气温度从 $42\ ^\circ\text{C}$ 降至 $37\ ^\circ\text{C}$,得到冷凝水约 $3.4\ \text{t/h}$,风量降至 $202\ 793\ \text{Nm}^3/\text{h}$ 。同时换热后环境

烟气温度从 $15\ ^\circ\text{C}$ 升至 $39.3\ ^\circ\text{C}$ 。这两部分烟气分别进入各自烟道排放,在烟囱顶部混合,混合后总烟气量为 $502\ 793\ \text{Nm}^3/\text{h}$,烟气温度为 $38.4\ ^\circ\text{C}$,烟气中水含量为 3.2% 。该含水量对应的饱和温度约为 $25.4\ ^\circ\text{C}$,此时烟气温度比饱和温度高出约 $13\ ^\circ\text{C}$ 。

具体设计设备参数见表4。烟气消白性能参数见表5。

表4 工艺烟气消白设计设备参数

序号	项目	数值
1	脱硫后烟气量(湿烟气)/ $\text{Nm}^3\cdot\text{h}^{-1}$	207 000
2	环境空气量(冷却风)/ $\text{Nm}^3\cdot\text{h}^{-1}$	300 000
3	高效换热器面积/ m^2	2 160
4	换热器材质	SUS 316L
5	冷却风机材质	碳钢
6	烟囱材质	玻璃钢
7	脱硫后烟气(湿烟气)侧压力降/Pa	330
8	环境空气(冷却风)侧压力降/Pa	560

表5 工艺烟气消白性能参数

序号	项目	数值
1	脱硫后烟气温度(降温前)/ $^\circ\text{C}$	42
2	脱硫后烟气温度(降温后)/ $^\circ\text{C}$	37
3	环境空气温度(升温前)/ $^\circ\text{C}$	15
4	环境空气温度(升温后)/ $^\circ\text{C}$	39.3
5	冷凝水量/ $\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$	3.4
6	混合烟气含水量/%	3.2
7	混合后烟气温度/ $^\circ\text{C}$	38.4
8	饱和烟气温度/ $^\circ\text{C}$	25.4

3.2 环境集烟消白及效果

经离子液脱硫后的环境集烟流量为 $226\ 000\ \text{Nm}^3/\text{h}$, 烟气温度为 $38\ ^\circ\text{C}$ 。烟气从上而下经过高效换热器,与通过风机输送的 $330\ 000\ \text{Nm}^3/\text{h}$ 环境空气进行间接换热,温度从 $38\ ^\circ\text{C}$ 降至 $33\ ^\circ\text{C}$,得到冷凝水约 $3.0\ \text{t/h}$,风量降至 $222\ 233\ \text{Nm}^3/\text{h}$ 。同时环境空气与脱硫后烟气换热,温度从 $15\ ^\circ\text{C}$ 升至 $35.5\ ^\circ\text{C}$ 。这两部分烟气分别进入各自烟道排放,在烟囱顶部混合,混合后总烟气量为 $552\ 233\ \text{Nm}^3/\text{h}$,烟气温度为 $34.5\ ^\circ\text{C}$,烟气中水含量为 2.7% ,该含水量对应的饱和温度约为 $22.5\ ^\circ\text{C}$,此时烟气温度比饱和温度高出约 $12\ ^\circ\text{C}$ 。

环境集烟消白设计设备参数见表6,环境集烟消白性能参数见表7。

4 技术特点分析

本项目所采用的冷凝再加热法主要特点如下:

1) 换热效率高。烟气换热采用高效换热器,其

表6 环境集烟消白设计设备参数

序号	项目	数值
1	脱硫后烟气量(湿烟气)/Nm ³ ·h ⁻¹	226 000
2	环境空气量(冷却风)/Nm ³ ·h ⁻¹	330 000
3	高效换热器面积/m ²	2 160
4	换热器材质	SUS 316L
5	冷却风机材质	碳钢
6	烟囱材质	玻璃钢
7	脱硫后烟气(湿烟气)侧压力降/Pa	370
8	环境空气(冷却风)侧压力降/Pa	650

表7 环境集烟消白性能参数

序号	项目	数值
1	脱硫后烟气温度(降温前)/℃	38
2	脱硫后烟气温度(降温后)/℃	33
3	环境空气温度(升温前)/℃	15
4	环境空气温度(升温后)/℃	35.5
5	冷凝水量/(t·h ⁻¹)	3.0
6	混合烟气含水量/%	2.7
7	混合后烟气温度/℃	34.5
8	饱和烟气温度/℃	22.5

采用焊接技术构造,结构特殊,换热效果与传统的板式换热器相比提高约30%。

2)不易堵塞,方便清洗。该设备板与板之间的空隙相对较大,大大降低了堵塞机率,也方便后期清洗。

3)耐腐蚀性强。针对特殊介质,采用新型耐腐蚀材料——超级不锈钢,可耐稀硫酸、HCl气体等,有效解决腐蚀问题。

4)不需要额外的热源。采用脱硫后烟气自身热量与空气进行换热,节约能耗,运行成本低。

5)可彻底消除白烟。湿烟气先降温脱水,再加热,最终烟囱排放口烟气温度比饱和温度高出12~13℃,在自然温度-5~40℃环境下,设备正常运行,离厂区100m外,基本无白烟、无拖尾现象。

5 结束语

本文以某工程为例,对离子液法脱硫后的工艺烟气和环境集烟两种烟气的消白技术进行了介绍,采用冷凝再加热法,将脱硫后湿烟气与环境空气换热,使湿烟气降温冷凝,环境空气被加热升温,然后在烟囱顶部混合后排放。该方法不仅实现了水分的回收,消白效果良好,基本全年无白烟、无拖尾现象,且不需要额外的热源,节约能耗,运行成本低。

[参考文献]

- [1] 王存平,石永,郭锐. 冷凝再热法烟气消白技术在氨法脱硫中应用[J]. 化工管理,2021(27):71-72.
- [2] 李玉林,肖杰,刘燕. 冷凝再加热技术对废碱液焚烧系统烟气消白效果研究[J]. 能源科技,2020(18):61-62,70.
- [3] 王明鑫,章立新,高明,等. 烟气消白临界排烟温度数学模型的对比分析[J]. 暖通空调,2021(51):108-115.

Application of Condensation Reheating Technology in White Smoke Elimination of a Copper Solid Waste Treatment Plant

YUE Huan-ling

Abstract: After hydrometallurgical desulfurization, the offgas is basically saturated. As the offgas contains a large amount of steam, once discharged into the atmosphere and cooled by the surrounding cold air, a large amount of white smoke will be produced. Taking a copper containing solid waste treatment project as an example, this paper introduced the composition of process offgas and secondary offgas after ionic liquid desulfurization, and the condensation reheating method was selected through comparison of white smoke eliminating technology, and analyzed the design parameters of the equipment and the characteristics of the technology. The production shows that this technology not only realizes the combined recovery of water and harmful substances, but also has good elimination effect. There is basically no white smoke and tailing throughout the year, and no additional heat source is required. It saves energy consumption and has low operating cost.

Key words: white smoke elimination; wet desulfurization; direct heating method; offgas condensation method; energy conservation and environmental protection