

烟尘回收的资源环境意义

池继松

赵平

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

(贵阳医学院药理学系, 贵阳 550002)

摘要 在燃烧和冶炼过程中都有烟尘产生。烟尘污染环境, 必须治理。烟尘是重要的二次资源, 应当回收利用。文中例举一些工业冶炼烟尘的回收效果、烟尘的物质组成、烟尘的综合利用和烟尘对环境的污染及危害, 从可持续发展角度论述烟尘回收的资源和环境意义。

关键词 烟尘 回收 利用 资源 环境

烟尘, 是在冶炼和燃烧过程中, 随烟道气体升腾沉积于烟道里或逸出烟道外的尘埃物质。就其来源, 可分为机械尘和化学尘。前者是冶炼和燃烧原料的微细粉末, 后者是冶炼和燃烧时原料在高温下分解、化合而成的新物质, 它们都是普遍存在的。科学实验和某些工业回收烟尘的实践证明, 烟尘不同程度地富集了其原料中含量较少或稀少的物质, 同时也含有一些新生成的有价的物质。这些物质都是宝贵的二次资源, 应当回收利用。在粗放工业中, 烟尘随烟道气排出。飘逸在天空里, 沉降在大地上, 使大气和土壤受到污染。尤其是一些烟尘中的有害物质, 严重破坏生态环境, 影响人类健康。因此, 烟尘回收, 又是一项保护环境洁净的重要措施。本文就笔者参加棕刚玉冶炼烟尘回收利用部分的工作结果和所阅有关资料摘要论述烟尘回收的资源环境意义。

1 烟尘回收

烟尘回收的方法有多种多样。棕刚玉冶

炼电炉烟尘回收方法有布袋收尘和电收尘两种。锡精矿焙烧烟尘回收方法以电收尘为主。锡精矿熔炼烟尘的回收主推电收尘, 有的也采用湿法收尘。湿法收尘是电炉烟气经水冷却烟道和气体洗涤器洗涤后, 烟气再由烟囱排放。湿法回收的烟尘为泥浆。铜转炉、锌氧化沸腾焙烧炉和铅烧结机等的烟尘回收也多采用电收尘法, 但根据各种原料的特征和不同的冶炼过程, 需要对电收尘器进行结构和性能的选型。这些方法的收尘效率都很高。如贵州某厂 3 000 kVA 电炉采用电收尘法, 收尘效率达 95% 以上, 最高可达 99%; 焦作电厂燃烧低硫贫煤, 用电收尘器, 收尘效率达 99% 以上; 沈阳冶炼厂铅烧结机烟气经电收尘器收尘, 效率亦可达 98%~99%。我国锰系铁合金 12 500 kVA 电炉用电收尘器, 回收烟尘效率也达 97%~99%^[1]。白银有色金属公司三冶烧结车间采用布袋和电收尘器收尘, 效率都在 91% 以上^[2]。

随着有色冶金窑生产的强化, 其外出烟气含尘量亦大幅度增加, 沸腾炉、闪速炉和

载流干燥等的外出烟气含尘量都大于 100 mg/m^3 ,有的高达 900 mg/m^3 ,高于国家规定排放量为 100 mg/m^3 的标准。我国某厂一台 $7\,500\text{ kVA}$ 冶炼棕刚玉电炉烟气量为 $65\,000\text{ m}^3/\text{h}$,烟尘浓度为 $1\,550\text{ mg/m}^3$,超过排放标准15倍以上。在国外,据资料介绍,前苏联西北利亚炼锡厂电收尘前焙烧炉烟气含尘量约 $4\,000\text{ mg/m}^3$,反射炉烟气含尘量 $8\,000\sim 12\,000\text{ mg/m}^3$ [3];德国弗赖贝格炼锡厂焙烧炉烟气含尘量 $4\,000\sim 9\,400\text{ mg/m}^3$,反射炉含尘量 $1\,800\sim 5\,200\text{ mg/m}^3$ 。它们超过允许排放量的倍数更多。

就收尘量而言,按我国棕刚玉年产量估算,每年向大气排放棕刚玉烟尘量 $40\,000\sim 60\,000\text{ t}$ 。贵溪冶炼厂每年(富氧前)产出转炉电收尘烟尘 $1\,500\sim 1\,800\text{ t}$ [4]。广东省年产高炉炼铁烟尘 $18\,000\sim 24\,000\text{ t}$ [5]。武汉钢铁公司第一炼钢厂每年通过静电除尘器收集到的平炉烟尘约为 $40\,000\text{ t}$ 。从以上仅举的几家企业排尘情况看,其烟尘量是十分可观的。据《贵州日报》报道,1999年贵

阳市的烟尘排放量为 $115\,000\text{ t}$,其中工业烟尘 $97\,000\text{ t}$,烟尘的回收治理已是刻不容缓的事情[6]。我国产出烟尘的大中型企业,已经或正在采取切实有效的烟尘回收措施。但是,正在发展中的小型和乡镇企业,在这方面的力度还很不够,应当引起各方面的重视。

2 烟尘成分

烟尘成分随其原料的不同各有差异,但都有一个有价元素(物质)含量高于原料中含量的特点,即烟尘对这些元素(物质)起着富集的作用。白银公司炼钢厂在用反射炉或鼓风炉熔炼铜精矿成冰铜后,再用转炉吹炼成粗铜的生产过程中,转炉烟气经电收尘器收集的烟尘含有大量的Pb、Zn、Cu、Cd和Bi等有价金属,还含有In、Ti等稀散金属,其富集倍数也高得可观[7]。这些成分在铜精矿及其冶炼烟尘中的含量比较和相应的富集倍数见表1。

白银公司三冶炼车间烧结烟尘与精矿成分含量比较及富集倍数见表2。

表1 精铜矿与其烟尘成分含量比较[7]

	Pb	Zn	Bi	Cd	In
铜精矿(%)	0.2~0.7	2.0~4.5	0.014~0.075	0.017~0.040	0.002~0.004
烟尘(%)	13~23	15~20	1.5~3.5	0.7~1.0	0.02~0.05
富集倍数	32.9~65	4.4~7.5	46.7~107.1	25~41.2	10.0~12.5
	Ti	As	Cu	Fe	
铜精矿(%)	0.00015~0.01300	0.12~0.35	13~16	28~31	
烟尘(%)	0.04~0.09	1.8~3.8	2.0~3.4	1.0~3.0	
富集倍数	69.2~266.7	10.9~15.0			

表2 铅锌精矿与其烟尘成分含量比较[2]

	(Pb+Zn)	Cd	Bi	Tl	In
铅锌精矿(%)	43.33	0.15	0.0133	0.0017	0.0025
电收尘(%)	42.8	2.58	0.415	0.245	0.01
富集倍数	相当	17.2	31.2	144.1	4.0

棕刚玉烟尘中富集率最高的是 Ga。Ga 在铝土矿中含量为 0.004%~0.007%，而在烟尘中含量富集至 0.074%~0.1%，平均提高 16 倍。Ga 一般从铝土矿生产的 Al_2O_3 母液中提取，因而从棕刚玉烟尘浸出液中回收 Ga，其意义特别重大。

烟尘中除富集原料里含量很少的元素外，还含有其他有用物质，对这些物质的回收利用也具有重要的经济价值。如表 2 铅锌精矿烟尘中，铅锌含量与原料铅锌精矿相当，高达 42.8%，该烟尘产率高，最高时占精矿量的 32.3%^[2]；广东两座主要钢铁厂高炉炼铁烟尘经多年取样分析表明，含 Zn 10%~16%，Bi 2%~6%；某厂烟尘含 Zn 11.57%，Bi 3.53%，Fe 9.31%，Pb 0.55%，C 23.6%；据此数据计算，该厂每年烟尘含 Zn 1 100 t，Bi 350 t，Fe 930 t，Pb 55 t，C 2 360 t^[5]。平炉炼钢烟尘中含氧化铁在 90%以上，按每年烟尘 40 000 t 计，其中含氧化铁 36 000 t^[8]。这些物料都已在相应的企业得到合理利用。

为了有效利用烟尘，除有其化学成分

分析数据外，有的还要对烟尘进行粒度分布分析和物相分析。在这方面，烟尘利用工作者已经积累了一些数据，例如，棕刚玉烟尘的粒度分布(表 3)、铅锌烧结烟尘粒级与密度(表 4)。

表 3 棕刚玉布袋收尘粒度分布^[9]

粒度 (μm)	百分数 (%)	累计 百分数 (%)
过 320 目筛之筛下物 (微细料)		
0.00~1.00	32.29	32.29
1.00~3.00	20.68	52.97
3.00~6.00	9.68	62.65
6.00~10.00	2.98	65.54
10.00~15.00	1.93	67.47
15.00~20.00	3.34	70.81
20.00~25.00	2.33	73.14
25.00~30.00	2.86	76.00
过 320 目筛之筛上物 (粗粒料)		
	24.00	100.00

表 4 烧结烟尘粒级与密度^[2]

真密度 堆密度	箕斗坑					
	旋涡尘		布袋尘			
	粒级 (μm)	百分数 (%)	累计百分数 (%)	百分数 (%)	累计百分数 (%)	
		4.66		4.51		
		1.52		0.62		
	+84	2.96	2.96	0.48	0.48	
	-84	+57	1.76	4.72	1.08	1.56
	-57	+45	4.14	8.86	1.79	3.35
	-45	+30	3.55	12.41	3.58	6.93
	-30	+20	4.14	16.55	7.17	14.10
	-20	+10	47.35	63.90	46.83	60.93
	-10		36.19	100.00	39.07	100.00

表4续完

		烧 结 机 尾 部			
		旋 涡 尘		布 袋 尘	
真 密 度		4.69		4.27	
堆 密 度		2.06		2.10	
粒 级 (μm)		百 分 数 (%)	累 计 百 分 数 (%)	百 分 数 (%)	累 计 百 分 数 (%)
	+84	0.50	0.50	0.46	0.46
-84	+57	0.75	1.25	0.58	1.04
-57	+45	3.73	4.98	6.74	7.78
-45	+30	1.24	6.22	3.72	11.50
-30	+20	19.90	26.12	15.33	26.83
-20	+10	36.94	63.06	36.00	62.83
-10		36.94	100.00	37.17	100.00

表3、4具有一般烟尘粒度及其分布的代表性。尤其是10 μm 细微烟尘占烟尘的相当大部分。如此大量的微细粉尘,机械破碎是很难达到的。它们的极大部分必然是物料在高温下经多种分解、化合反应的产物,因而被称为化学尘。研究棕刚玉烟尘的镜下特征和物相表明,其主要成分(70%~80%)是由O、Al、Si、K 4种元素组成的玻璃共融体,

还有少量 K_2SO_4 和褐铁矿等,是新的物相。在有色冶金炉窑高温冶炼过程中,大量金属挥发物随烟气带出,并形成新的氧化物,如氧化铅、氧化锌、三氧化二砷、氧化锡等。锡矿中烟化炉挥发富集锡的烟尘和铜转炉电收尘的烟尘物相研究进一步表明,同一金属挥发后形成的物相是多种多样的(表5、6)。

表5 锡烟尘的物相分析^[10]

Sn	物相	SnO	SnO ₂	Sn	
	含量(%)	5.7	87.9	6.2	
Pb	物相	PbSO ₄	PbO	PbS	不溶渣
	含量(%)	25.1	57.1	5.5	11.7
As	物相	As ₂ O ₃	M ₂ (AsO ₄) ₂	As	As ₂ S ₃
	含量(%)	32.3	57.5	1.9	8.3
Sb	物相	Sb ₂ O ₃	Sb ₂ S ₃	M ₃ (SbO ₄) ₂	
	含量(%)	21.6	4.3	74.1	
Zn	物相	ZnO	ZnS	不溶渣	
	含量(%)	6.2	84.8	0.9	

表 6 铜烟尘的物相分析^[11]

					%
		硫酸盐	氧化物	其他	总量
Cu	含量	11.97	1.03	1.94	14.94
	分配	82.12	6.96	12.92	100
Pb	含量	12.03	0.17	0.98	13.18
	分配	91.30	1.30	7.40	100
Zn	含量	8.28	0.20	0.50	8.98
	分配	92.20	2.20	5.60	100
In	含量	0.000 2	0.009 1	0.029 6	0.036 9
	分配	0.60	19.20	80.20	100

了解烟尘的粒级分布和物相成分,对于拟定烟尘的综合利用方案和选取工艺流程是十分重要的。例如粗铜冶炼烟尘中金属的基本形态是硫酸盐,其中 Cu、Zn、Cd 的硫酸盐易溶于水,而 Pb、Bi、Sn 的硫酸盐则极少溶于水和稀硫酸^[7]。利用这一特性,用水浸出烟尘,在不消耗任何试剂的情况下,使两类金属得到分离。然后分别处理浸出液和渣,回收各种金属,工艺流程较短,经济效益显著。

3 烟尘利用

通过对烟尘的剖析研究,可以根据不同烟尘的特点,研究资源化利用烟尘的工艺方法,并形成一定层次的产品。对这些工艺方法的要求是,尽量减少、甚至排除对环境的二次污染。

平炉炼钢烟尘的氧化铁含量很高, (Fe_2O_3 91.84%、 FeO 2.36%, 共 94.20%), 部分返回烧结厂用作铁精矿的掺料^[8]。为提高烟尘利用的附加值,可以用它来制造氧化铁红、铁氧体材料和水处理剂——液体聚合硫酸铁。对于炼铁高炉烟尘(或瓦斯泥)的资源化,可用硫酸分别浸出锌和铋。浸渣含锌和铋甚微,适合作铁矿粉烧结配料。在国外,Helite H G 等用等离子技术的直接还原法,回收钢厂烟尘中的 Fe、Zn 和 Pb^[12]。转炉炼铜烟尘中的 Pb、Bi、Zn 和 Cd 含量分别为 30.62%、9.31%、4.83% 和 1.29%^[7]。不

先经硫酸化焙烧,直接采用两段逆水浸出或稀酸浸出,浸出液用铁屑置换,并经氧化除砷铁处理,置换后,得海绵镉,浓缩置换液得硫酸锌。浸渣经二次浸出后,用鼓风炉还原熔炼,再经加硫除铜和电解处理得电铅。电解阳极泥经加硫除铜熔炼,碱法除铋,加锌除银,再氯化除锌和铅后,精炼得精铋。所除物质或返回母体再炼,或作原料提取精品,实现资源化利用。白银公司炼铜厂综合利用车间转炉电收烟尘生产七水硫酸锌 ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$),同时回收其他金属,9 年共生产硫酸锌 8 742 t,精 Cd 43 t,粗 In 446 kg,粗 Tl 306 kg,粗 Pb 406 kg^[2]。某锰系铁合金企业烟尘含 Mn 24%~31%,烧结成锰矿,年回收 1 200 t,获利 24 万元;若将它制造 MnSO_4 ,每年获利 60 万元^[1]。由此可见,烟尘的回收利用,既有良好的社会效益、环境效益,也有良好的经济效益。

笔者参加的棕刚玉烟尘回收利用,系采用自净式大循环分段提取棕刚玉烟尘中 Ga、K、Al、Si 等有价值成分的新方法。烟尘中的硅化物以硅钙渣形式进入渣泥富集,效率达 98% 以上。渣泥可制建材产品。90% 以上的 K、80% 以上的 Ga 和 70% 以上的 Al 可以转到溶液中,有利于进一步分别回收。若不加以回收,估计全国在冶炼棕刚玉过程中,每年随烟尘排放 K_2O 12 000 t、Ga 30~50 t 和 Al_2O_3 10 000~15 000 t,宝贵资源的流失和

经济效益的损失是巨大的。

资源利用的途径与方法是多多种多样的,依据不同需求和条件而异。烟尘在固体废弃物中所占的比例虽然是很小的尚未引起足够重视的一部分,但它的资源效益却是不可忽视的。

4 烟尘与环境

烟尘由烟气带出炉体。众所周知,烟气中含有的硫氧化物、氮氧化物等对人和动物的健康、植物的生长、植被和建筑物的保护等都有严重损害。烟气中的烟尘含有 Pb、As、Cd、Ni、Mn、Tl、Be 等几十种有害元素,由于它们在烟尘中高度富集,其浓度超过地壳中相应浓度的若干倍,而且其粒度非常之小。它可以随风飘逸到很远很远的空间和地方,污染那里的自然环境。对人体来说,呼吸器官的绒毛挡不住那些烟尘的有毒微细颗粒,它们可径直被吸进肺的深部,其毒性比被肠胃吸收要增大四五倍。有资料说明,肺癌的高发与大气中的这些小颗粒有明显关系。

烟尘的沉降污染着大地。富集了的高于土壤本底若干倍的有害元素或某些有害价态元素溶于水后,通过土壤→水→植物→人、土壤→水→植物→动物→人或土壤→水→动物→人的迁移形式,影响人的健康。被称为“鬼剃头”元素的 Tl、导致罗马帝国衰亡的 Pb、急性和慢性中毒的 As、与心血管病密切相关的 Cd、Mn、Ni 等等,都是由于水土中这些元素含量太高而致人疾病的明显例子。烟尘的沉降也污染着水体。溶解于水的过量有害元素或有害价态元素也同样影响人类健康和动物、植物的生长。

未经治理的烟气带着烟尘扩散,对环境的影响程度受源强、烟囱高度、烟气温度、环境温度、风向、风速及大气稳定度等诸多因素的影响和制约。在人类文明发展到 20 世纪

末的今天,检测表明空气污染没有国界,烟尘扩散是全球性的。人类需要一个清洁的环境。烟气必须治理,烟尘应当回收,已经成为人们的共同要求。

贵州某厂在设计建新厂时,同时设计了电炉冶炼棕刚玉烟尘的收尘工艺。用年均风速与静风状态,分别对应年均气温及 1 月(冬季)和 7 月(夏季)平均气温,选择大气稳定度出现频率最多的 B (11.9%)、D (67.2%) 和 E (14.6%) 3 个类型(合计 93.7%),组合成 12 个状态和 24 个系列进行预测计算和分析。结果表明,收尘前,在所测范围(远至离源 400 m)内,大气质量为三级,最好为二级;经收尘治理后,由于布袋收尘系统和电收尘系统的收尘率分别在 95% 和 85% 以上,收尘后的环境大气质量得到了极大改善,由收尘前的三级、二级均变为一级的优良状态。该厂棕刚玉烟尘的回收利用,正在进行工业性试验,资源的有效利用和环境的清新洁净,保证该厂朝着可持续发展方向。

蔚蓝的天空,碧绿的大地,清亮的河流,是保证人类安居乐业、健康长寿的需要,也是人类物质文明和精神文明进一步发展的需要。我们相信,通过对污染治理的不懈努力,人类的地球村,必将是一个美好的乐园。

致谢:笔者在工作和写作中得到田元江研究员、李惠文研究员和池家祥高级工程师的指导和帮助,谨致诚挚谢意。

参 考 文 献

- 1 于波. 环境工程,1994(2):26~30
- 2 李嘉桂. 有色金属,1992(6):46~49
- 3 莫宜华. 有色冶炼,1988(6):23~29
- 4 周荣华. 有色金属,1989(4):40~42
- 5 郑文裕,邱清华,张小红. 有色金属,1994(1):21~24

(下转第 11 页)

始终使渣场地面形成一个向厂区内倾斜的平面,降雨时能迅速形成向厂区方向的地表径流,一方面可减少渗漏量,另一方面地表径流能流向厂内排水沟,不产生地面积水。

5.2 渣场防渗效果

渣场东边分布着若干岩溶泉水点,当地称为龙潭,呈串珠状分布,距离渣场最近的杨丘湾龙潭不到600m,1997年初渣场发生渗漏事故时,杨丘湾泉水首先受到污染,接着李广堡龙潭、小寨龙潭也受到污染。采取

上述防渗措施后,安顺地区环境监测中心站对这些地方进行监测,水质已大为好转。2000年省环保局对该渣场进行验收,贵州省环境监测中心站和安顺地区环境监测中心站对该厂周围地下水点进行了监测,将这次监测结果与1997年初发生渣场渗漏时的监测结果比较(表8),不难看出这些测点水中的 Ba^{2+} 、 S^{2-} 浓度已恢复了正常,说明渣场经治理后已没有发生渗漏。

5.3 确保现有渣场安全运行应进一步采取

表8 1997年发生渗漏时泉水中的 Ba^{2+} 、 S^{2-} 浓度与2000年监测结果对比

污染物	监测时间	杨丘湾	李广堡	小寨	均值
Ba^{2+} (mg/L)	1997年3月	0.881	1.017	0.930	0.947
	2000年3月	0.036	0.110	0.250	0.132
	倍数	24	9.25	3.72	7.17
S^{2-} (mg/L)	1997年3月	3.900	1.350	1.270	2.170
	2000年3月	0.190	0.128	0.175	0.164
	倍数	20	10.5	7.26	13.2

的措施

(1) 进一步提高钡渣的浸取率,建议再用清水对钡渣进行一次洗涤,使钡渣中BaS的浓度降低到0.06%以下,可减排BaS 655 t,按回收率50%计算,可生产碳酸钡产品330 t,价值60万元。

(2) 进一步加大碾压次数,可以加速钡渣的固结,降低孔隙率,进而可以提高钡渣防渗透的能力。

(3) 钡渣堆高后,为防止东面边坡失稳,应在堆放钡渣时采取相应措施,如采用堆放编织袋加固边坡、沿边坡植树种草进行绿化等。

(4) 钡渣是生产砖、水泥、筑路等的建筑材料,该厂现正抓紧开展这方面的试制工作,开辟钡渣综合利用的途径。

收稿日期:2000-06-21

~~~~~

(上接第6页)

- 6 步之梅. 贵州日报,1999-12-27
- 7 陈洪立. 有色金属,1989(5):5~7
- 8 蒋馥华,张萍,陶武阳等. 环境污染与防治,1995(3):6~8
- 9 李惠文,田元江,池家祥等. 贵州地质,1999,16(4):57~65
- 10 罗庆文,李星龄,冯干明等. 有色金属,1989(1):15~18
- 11 李晋生. 有色金属,1996(6):27~28
- 12 Helite G H, Samten S O. Iron and Steel Eng, 1985, 62(8):64~67
- 13 程一聪. 有色冶炼,1988(6):21~28
- 14 朱梅年. 微量元素与健康. 贵阳:贵州人民出版社,1980. 89
- 15 李继昌. 有色金属,1993(6):1~3

收稿日期:2000-05-16