

综述与专论

电子废弃物资源化现状及处理技术^{*}

王卓雅,温雪峰,赵跃民

(中国矿业大学,江苏徐州 221008)

摘要: 描述了电子废弃物的产生现状,分析了电子废弃物的特点,并简要地介绍了对其资源化处理的各种方法及设备。

关键词: 电子废弃物;机械处理;资源化

中图分类号: X705

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2004)05-0019-03

PRELIMINARY DISCUSSION ON CURRENT STATUS AND RECYCLING TECHNOLOGY OF ELECTRONIC SCRAP REUTILIZATION

WANG Zhuo - ya, WEN Xue - feng, ZHAO Yue - min

Abstract: In this paper, the current status and the characteristics of electronic scrap were analyzed, the different recycling methods and equipments were presented.

Key words: electronic scrap; mechanical processing; reutilization

电子工业的飞速发展和电子设备的广泛使用,给人类的生产和生活方式带来了极大的变革,同时也产生了消耗大量资源和能源、污染环境、增大废弃物量等一系列问题。随着电子技术的进一步发展,电子产品更新换代的周期不断缩短,废旧电子产品的数量与日俱增,这对环境造成了严重的危害。电子废弃物的资源化处理已经成为当前亟待解决的课题,引起了全社会的广泛关注。

1 电子废弃物的特点

1.1 电子废弃物的危害性

电子废弃物种类繁多,成分复杂,其中含有多种有毒有害物质,如多氯苯并二恶英同系物、多种重金属及其化合物等。如果随意堆弃填埋、自由回收或采用不当的工艺技术和设备对其进行处理和处置,其中的有毒有害物质就会进入水、土壤和

大气中,给人类的生存环境及人体健康造成潜在的、长期的危害。

1.2 电子废弃物的有价性

电子废弃物中含有许多可以资源化利用的材料,如各种塑料可以被直接回收利用;金属、贵金属和稀有金属的提纯利用以及树脂纤维材料的再生利用等。丹麦技术大学的研究结果显示:1 t 随意收集的电子板卡中含有大约 272.4 kg 塑料、129.8 kg 铜、0.45 kg 黄金、40.9 kg 铁、29.5 kg 铅、20 kg 镍和 10 kg 铈,如果能回收利用,仅这 0.45 kg 黄金就价值 6 000 美元。因此,电子废弃物的回收利用具有明显的社会效益和经济效益。表 1 为个人电脑中使用的印刷电路板典型组成。

表 1 电脑电路板中所含的物质成分及比例

物质名称	比例/ %	物质名称	比例/ %	物质名称	比例/ %
塑料	49.799	铈	1.825	钡	0.021
铜	23.728	锌	0.747	铍	0.015
铁	7.467	银	0.083	钨	0.014
溴化物	4.646	金	0.083	铀	0.008

收稿日期:2004-03-15

^{*} 国家杰出青年科学基金资助项目(50025411)

第一作者简介:王卓雅,女,在读硕士研究生,从事固体废弃物处理及资源化研究。

铅	4.480	镉	0.066	铂	0.006
锡	3.650	钽	0.032	镧	0.005
镍	3.319	钼	0.026	汞	0.002

2 电子废弃物产生现状

目前,电子垃圾已经成为世界上增长最快的垃圾。欧盟 2000 年发表的有关电子废弃物的报告指出,每五年这类电子垃圾便增加 16%~28%,比总废物量的增长速度快三倍。现在,美国的电子废物占全美垃圾量的 2%~5%,而只有不超过 10% 的电子废弃物被回收,这类垃圾每年正以 3%~5% 的速度增长。据估计,到 2005 年,美国每年将产生约 6 300 万台废旧电脑。

我国生产消费的电子废弃物问题也相当严重。随着我国电子信息产业的迅速发展,目前,我国电子产品市场总规模达 1 万亿元,电子工业产值已占世界第 4 位,国内生产与消费过程中产生的电子废弃物迅速增加,以电子工业发达的广东东莞市为例,每月产生的印刷电路板、覆铜板边角料等电子废弃物就超过 5 000 t,而广东全省则超过 8 000 t,北京市每年产生的电子废弃物超过 5 000 t。据专家估计,近几年我国百姓的家用电器也将进入报废高峰期,我国电冰箱、电视机和洗衣机的目前社会保有量均超过一亿台,以后将以年均 400~500 万台的速度被淘汰。这些电子废弃物如果不加以合理的处理,而被任意地丢弃、焚烧或者填埋,其中的有毒有害物质就会渗入土壤,进入地下水或汽化挥发,从而造成土壤、水和大气严重污染。电子废弃物的资源化回收对于充分利用资源和保护人类生存环境都是十分必要的。

3 电子废弃物处理技术

由于电子废弃物的材料组成和结合方式复杂,处置起来比较困难。如电子废弃物中占较大比重的废旧印刷电路板,其中含有多种塑料和金属,结合方式复杂,单体解离粒度小,不容易实现分离。

目前处理电子废弃物的方法主要有化学处理方法、火法和机械处理方法。

3.1 化学处理和火法处理

化学处理是将破碎后的电子废弃物颗粒在酸性或碱性条件下浸出,浸出液再经过萃取、沉淀、

置换、离子交换、过滤以及蒸馏等一系列过程最终得到高品位及高回收率的金属,但在化学处理的过程中要使用强酸和有剧毒的氰化物等,产生的废液对环境危害较大,无害化成本较高。

火法处理是指将电子废弃物焚烧、熔炼、烧结、熔融等,去除塑料和其他有机成分,富集金属的方法。

化学处理和火法处理都适用于对贵金属的回收,但随着电子工业的发展,电子产品中贵金属的用量正在逐渐减少;同时化学处理中的废液和火法处理中释放的有害气体都对环境产生着严重的危害,所以从资源化回收、生态环境以及可持续发展战略来看,这些方法都难以推广。

3.2 机械处理方法

利用各组分间的物理性质差异进行分选的机械处理方法存在着成本低,操作简单,不易造成二次污染,易实现规模化等优势。目前的机械处理方法主要包括拆解、破碎、分选等,处理后物质再经过冶炼、填埋、焚烧等处理后可获得的金属、塑料、玻璃等再生原材料。因此,机械处理可以使电子废弃物中的有价值物质充分地富集,减少后续处理的难度,提高回收效率。

3.2.1 拆解

电子废弃物中含有多种电子元器件,如变压器、电池、电容、晶体管等,这些元器件中含有铅、汞、镉等多种重金属和有害物质,处理时可预先将其拆解下来,对于可靠性检测后不可回收再利用的元器件可以进行单独处理,这样不仅能富集有价值物质,还可以防止其对后续工艺的污染,减少处理成本。目前,电子废弃物的拆解一般由手工完成,机械设备作为辅助,但随着电子工业的飞速发展,电子废弃物的数量日益增多,必须考虑采用机械化处理的方法,提高处理效率。日本 NEC 公司已研制开发了一套自动拆卸废电路板中电子元器件的装置,这种装置主要利用红外加热和两级去除的方式使穿孔元件和表面元件脱落,不会造成任何损伤。K Feldman 等人研究了废旧电路板的自动拆解方法,采用浴洗或热空气加热等方法熔化焊锡,再用真空夹或机器人拆除线路板表面元器件。

3.2.2 破碎

单体的充分解离是实现高效机械分选的前

提,破碎是实现单体解离的有效方法。因此,根据物料的物理特性选择有效的破碎设备,并根据所采用的分选方法选择物料的破碎程度,不仅可以提高破碎效率,减少能源消耗,而且还能对不同物料的有效分选提供前提和保证。

在选择破碎设备时,应充分考虑物料的物理特性。如拆除元器件后的废电路板,主要由玻璃纤维强化树脂覆铜板组成,存在着硬度较高,韧性较强,具有良好的抗弯性等特点,因此采用具有剪切或冲击作用的破碎设备比较合适。瑞典的 SR 公司开发的转式破碎机与日本 NEC 公司的剪切式破碎,都采用剪切作用来破碎废旧印刷电路板,减小了解离后金属的缠绕作用,得到了较好的解离效果。瑞士 Result 技术公司开发了超音速方法破碎涂层线路板等多层复合制件,它利用各种层压材料的冲击和离心特性不同,将多层复合材料彼此分开,不同材料的变形情况不同,脆性材料碎成粉末,金属则形成多层球状物。

3.2.3 分选

机械分选主要是利用物质间的物理性质差异(如密度、电性、磁性、形状及表面性质等)来实现不同物质的分离。机械分选包括湿法分选和干法分选。湿法分选有水力摇床、浮选、水力旋流分级等。干法分选包括空气摇床、电选、磁选和气流分选等。

3.2.3.1 按密度分选

按各组分的密度差异进行分选的技术成熟地应用于选矿行业中。由于电子废弃物中含有大量的金属和塑料,他们的密度差异较大,容易按密度分离,所以密度分选法处理电子废弃物也具有一定优势。

空气摇床是一种按密度分选的设备,现已广泛地应用于电子废弃物的分选过程中,其分选机理是:不同比重的颗粒混合物料给到床面上,与从床面缝隙吹入的空气混合,颗粒群在重力、电磁激振力、风力等综合作用下按密度差异产生松散分层,重颗粒受板的摩擦和振动作用向上移动,轻颗粒浮在床面上向下漂移,从而实现了金属和塑料的分离。Zhang Shunli 使用 Kamas LA-K 空气摇床从废旧电路板中回收金属,得到了较高的金属品位,入料量为 6 kg/h 时,铜的回收率为 76%,品位为 72%。

3.2.3.2 磁选和电选

磁选是利用电子废弃物中各组分的磁性差异实现分选的,多用于除去废弃电路板中的铁磁性物质。

静电分选是利用物质在高压电场中的电性差异实现分选的,对废弃物再生处理十分有效。其荷电机理有两种:一是通过离子或电子碰撞荷电,如电晕圆筒型分选机;二是通过接触和摩擦起电荷电,如摩擦电选,能够分选多种不同物料,尤其对两种混合塑料,分选十分有效。德国 Daimler-Benz Ulm 研究中心研制了一种分离金属和塑料的电分选机,可以分离尺寸小于 0.1 mm 的颗粒。中国矿业大学温雪峰等人采用电晕圆筒型电选机分选废旧电路板回收金属,对于 2~0.5 mm 的颗粒,回收率较高。

涡流分选技术现已被广泛地应用于回收电子废弃物中的非铁金属。其分选机理是当分选机中的磁场变化时,在导电的有色金属颗粒中感应产生涡电流,涡电流与磁场相互作用,对导电颗粒产生电动力,使导电颗粒和绝缘颗粒产生不同的运动轨迹,从而实现导体和非导体的分离。涡流分选要求颗粒的形状规则平整,而且粒度不能太小。Zhang Shunli 使用涡流电选机有效地回收了废旧电路板中的铝。铝的密度较低,使用普通的分选方法容易混入轻产物中,而使用涡流电选机可以高效地分离金属铝。

4 我国电子废弃物资源化现状

长期以来我国对电子废弃物处理的主要渠道是:旧货回收——低层次用户使用——拆解零件(或改换用途)——遗弃。这种运行模式不仅影响着我国电子工业的正常发展,而且对环境造成了极大的破坏,严重危害着人类的身体健康。近几年来,随着电子废弃物的急剧增加,我国对电子废弃物资源化的认识也在逐步提高,但我国在此领域起步较晚,还没有形成成熟的技术,现在不少专家学者已经着手这方面的技术研究和公关,并取得了初步成效。另外,我国还应在电子废弃物的处理利用过程中充分运用管理手段,包括法律和经济两大杠杆、政府计划、民间组织活动推动等措施来促使电子废弃物的资源化回收利用。

(下转第 43 页)

再搅拌,静止沉降 30 min 后,测上清液的 pH 值和挥发酚,同时测絮凝体沉降速度。

2 实验结果与讨论

2.1 ClO_2 氧化除酚实验

1 000 mL 废水通入不同时间 ClO_2 , 水样中挥发酚与 pH 值结果如表 2 所示。从表 2 结果可见,随着 ClO_2 通入时间的增长,废水中挥发酚含量下降,pH 值降低。

表 2 ClO_2 氧化除酚实验结果

时间/min	0	2	4	6	8	10	12
挥发酚/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1 880	1 320	852	531	321	197	161
酚去除 率/%	-	29.8	54.7	71.8	82.9	89.5	91.4
pH 值	7.35	2.98	2.48	1.98	1.56	1.42	1.33

表 3 因素水平表

水平	A ClO_2 通过 时间/min	B 10%ZL-1 加入量/mL	C 0.1%PAM 加入量/mL	D 搅拌时间/s
1	4	6.0	0.1	10
2	8	8.0	0.2	20
3	12	10.0	0.3	30

2.2 ZL-1 与 PAM 混凝沉降实验

该实验采用 $L_9(3^4)$ 正交实验安排实验。因素水平列于表 3,实验结果列于表 4。

根据正交试验的结果和极差分析可知,影响沉降效果的主要因素是 ZL-1 的加入量,其次是 PAM 的加入量。最佳的实验条件是 $AB_3C_3D_2$ 。即在 1 000 mL 水样中通 ClO_2 8 min,加药体积比为:废水 (10%)ZL-1 (0.1%)PAM=100 10 0.3。

取水样 1 000 mL,按上述加药比加药,搅拌 20 s,沉降 30 min 后,实验结果见表 5。

上清液占总体积的 93.60%,污泥沉降速度为 0.32 mm/s,pH 值为 8.37,该水完全满足洗涤与冷却煤气的要求。

3 结论

(上接第 21 页)

5 结束语

电子废弃物是一类增长速度快、环境危害性大、富含多种有价值物质的特殊废物。电子废弃物的资源化处理和利用对于建立循环物流型社会和实现可持续发展战略起着重要的作用。就我国而言,

含酚废水经 ClO_2 氧化 8 min 后,挥发酚去除率达 83%,COD 去除率达 95.3%, S^{2-} 和 CN^- 可完全去除。使得挥发酚不再向大气挥发,减轻了大气污染。氧化后的水可加入 ZL-1 和 PAM 进行混凝沉淀。当加药体积比为,废水 (10%)ZL-1 (0.1%)PAM=100 10 0.3 时,悬浮物去除率达 99.1%。过滤性能也有大大改善。处理后的水可循环使用,该废水由处理后排放转变为完全封闭循环,不仅减少了洗涤水的用量,而且也消除了对大气及水体的污染,因此是较理想的方法。

表 4 正交实验结果

水平	因 素				沉降速度/ ($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	挥发酚/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH
	A	B	C	D			
1	4	6	0.1	10	0.033	852	10.02
2	4	8	0.2	20	0.160	852	10.83
3	4	10	0.3	30	0.302	852	11.60
4	8	6	0.2	30	0.015	321	4.24
5	8	8	0.3	10	0.327	321	8.37
6	8	10	0.1	20	0.315	321	8.86
7	12	6	0.3	20	0.164	161	1.74
8	12	8	0.1	30	0.083	161	2.66
9	12	10	0.2	10	0.170	161	3.54
K_1	0.165	0.071	0.144	0.177			
K_2	0.219	0.190	0.115	0.213			
K_3	0.139	0.261	0.264	0.133			
R	0.080	0.191	0.194	0.080			

表 5 含酚废水处理结果

	挥发酚	焦油	SS	COD	S^{2-}	CN^-
含量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	318	520	43	760	-	-
去除率/%	83.0	97.4	99.1	95.3	100.0	100.0

参考文献:

- [1] 刘相伟. 工业含酚废水处理技术的现状和发展[J]. 工业水处理, 1998, 18(2): 4~7.
- [2] 乌锡康, 金青萍. 有机水污染治理技术[M]. 上海: 华东化工学院出版社, 1989: 187~188.

合理解决电子废弃物资源化问题有助于缓解人口、资源和环境的压力。目前,我国对电子废弃物的处理利用在管理和技术方面都还比较落后,需要进一步完善提高,以期切实有效地将这类危险废物变成二次资源,减少其对环境和人类的危害。