

摩擦电选法回收废弃线路板中有机组分的研究

陈 稳,张光文,杨 兴,王海锋,高 博,吴瑞瑞,丁超琼

(中国矿业大学 化工学院,江苏 徐州 221116)

摘要:本研究采用摩擦电选法回收废弃线路板中的有机组分,主要探究了废弃线路板非金属组分的摩擦荷电特性,以及在最优分选参数条件下进行静电分选的效果。不同组分荷质比的测量结果显示,PMMA 作为摩擦材料使废弃线路板非金属组分中的有机物与无机物荷电性质相反,荷质比差异较大,说明 PMMA 作为摩擦材料时废弃线路板非金属组分中的有机物与无机物可实现摩擦静电分选。分选结果表明靠近两极位置的收集槽中产品的产率较高,分别为 27.22% 和 51.71%,靠近正极收集槽中产物有机组分的烧失量达到了 81.42%。该研究证明了摩擦电选回收废弃线路板中有机组分的可行性,为废弃线路板有机组分的回收和再利用提供了一种有效的途径。

关键词:摩擦电选;废弃线路板;有机组分

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.06.021

中图分类号:TD 922.4 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)06-0098-04

随着电子产业的迅猛发展,世界范围内电子废弃物正以每年 2000~2500 万 t 的速度不断增长,而我国正在成为一个电子废弃物聚集地,这对环境产生很大负面影响^[1]。废弃线路板是电子废弃物中很重要的一部分,其中除了有害物质外,还含有铜、锡、镍、金、银等多种高价值的金属^[2],一吨废弃线路板中包含 80~1500 g 黄金,160~210 kg 金属铜,黄金含量是原生矿的 40~800 倍,金属铜含量是原生矿的 30~40 倍^[3],除金属以外,废弃线路板还含有塑料以及玻璃纤维、环氧树脂和陶瓷等非金属材料^[4]。因此对废弃线路板进行分选回收处理不仅具有重要的环保意义还实现了线路板中资源的循环利用。

目前,对于废弃线路板的回收利用研究基本都是针对废弃线路板中金属成分。Petter 等采用浸出的方法对废弃线路板中金和银进行回收利用^[5]。Behnamfard 等采用浸出从废弃线路板中回收金属材料铜、银、金和钯^[6]。Habib 等采用新型震动系统从废弃线路板中回收金属部件,其中在废弃线路板被粉碎到 1 mm 以下进行回收的时候,金属品位能够

达到 95%^[7]。曾伟民等通过生物浸出的方法对废弃线路板中有价金属进行回收,有着环保方面的优势^[8]。

另一方面,废弃线路板中的有机组分也是一种资源,虽然可以将废弃线路板中有机组分作为固体填充材料进行垃圾填埋,但是部分组分含有有毒物质,容易产生二次污染以及土地污染问题。目前有机组分尚未得到有效利用,直接焚烧或者重新将非金属部分用于溴化阻燃剂,在燃烧过程中都会产生二噁英等有毒气体,对环境产生很大的污染^[9]。Hao 等采用一种新方法将非金属部分和煤炭混合起来作为一种能源利用^[10]。Guan 等利用低温热解的方法将有机物质分解成低分子产品(液体或气体)用作燃料或化工原料^[11-12]。孙路石采用热解技术处理废线路板,实现了 HBr 等非金属成分的资源化回收利用^[13]。但是热解的时候面临的问题是不同组分会发生复杂的反应变化,很可能产生有毒物质,对于处理的废弃线路板存在材料限制以及成本较高的缺陷。

随着科学技术的发展,由于有机材料的可再生

收稿日期:2016-05-06;改回日期:2016-07-13

基金项目:国家级创新训练项目(201510290032)、中国矿业大学学科前沿方向研究专项(2015XKMS040)

作者简介:陈稳(1995-),男,本科,研究方向为摩擦静电分选处理电子废弃物。

性以及低污染性,将会有越来越多的新型材料用到电子产品领域,对有机材料的回收利用符合可持续发展的理念。本研究对废弃线路板中有机组分和玻璃纤维进行了摩擦荷电性质分析以及静电分选实验,为废弃线路板中有机组分的回收利用提供了一定的理论基础。

1 试验物料和方法

1.1 试验物料

试验物料来自于安徽省一家环保科技有限公司废弃线路板回收工艺生产线所产生的废弃非金属组分,物料粒级为 -1.4 mm 。

1.2 摩擦材料的选取

1.2.1 线路板中各组分的获取

对破碎后线路板中的不同组分以颜色为依据进行手工挑选,挑选得到的有机组分(红、黑、黄、白、蓝、粉、灰)和无机组分(玻璃纤维)纯物料。

1.2.2 线路板各组分荷质比的测量

试验采用的荷质比测量系统,由可更换滑槽、法拉第筒、电荷测量仪和支架组成。物料由滑槽上部给入在重力作用下沿滑槽滑落,在滑落过程中待测物料与滑槽摩擦,发生电荷的转移,逸出功高的一方荷负电,低的一方荷正电。荷电颗粒落入法拉第筒后其电荷量显示在测量仪上。各组分的荷电特性用荷质比(单位质量物料所荷电量)表征。

本研究中采用的摩擦材料有SS(不锈钢)、PTFE(聚四氟乙烯)、PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯)、PVC(聚氯乙烯)、PPR(聚丙烯)等五种常用材料,测量过程重复三次,测量结果取平均值。

1.3 试验原理

摩擦电选是利用不同物料摩擦荷电性质差异进行分选的一种干式分选方法,主要包括摩擦荷电过程和静电分选过程。其中摩擦荷电过程是物料颗粒进入摩擦器后,经过颗粒与颗粒之间或者颗粒与摩擦器壁之间的相互接触、摩擦和碰撞,使得荷电性质不同的颗粒带上极性相反、电量大小不等的电荷。静电分选过程是荷电后的颗粒进入带有高压静电场的分选室,在电场力、重力、曳力的作用下,不同的带电颗粒会具有不同的运动轨迹,落入不同的产品收集区,从而分选得到不同的物质。摩擦静电分选原理见图1,从风机产生的风经过气罐进入管路,使螺旋给料机给入的物料继续沿管路运动,物料先进入

摩擦区,再进入旋风摩擦器,完成摩擦荷电;混合物料在重力、离心力的作用下进入静电分选区,主要在电场力的作用下完成静电分选。

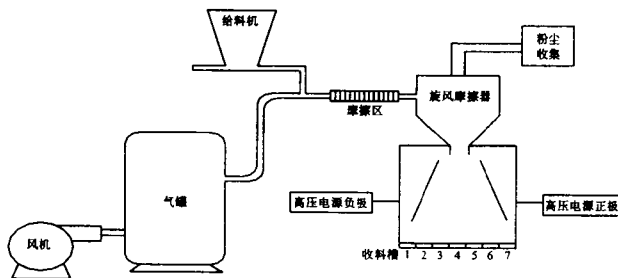


图1 摩擦静电分选原理

Fig. 1 The friction electrostatic separation principle

1.4 烧失量测定分析

烧失量是用来评估分离结果的主要指标,能够体现有机组分含量的多少。测定条件是在 600°C 时将分离后的每种物料在马弗炉内灼烧 20 min ,将其中的有机组分全部烧掉后,测定质量差,并利用计算质量差占原料比例的方法评定有机组分的含量。

2 结果与讨论

2.1 摩擦材料选择

利用荷质比测试系统对不同物料在不同材质的溜槽上测定的荷质比结果见图2。在图2a中,采用SS做摩擦荷电材料,其中有机组分均荷负电,玻璃纤维荷正电,两类物质具有明显的电性差异,玻璃纤维荷质比为 1.35 nC/g ,有机组分荷质比最大为 -2.2 nC/g ,两者差值 3.55 nC/g ,具有一定的可选性。在图2b中,采用PVC做摩擦荷电材料,其中只有灰色物料荷负电,荷质比为 -0.12 nC/g ,有机物与玻璃纤维都带正电,有机组分和玻璃纤维不容易分离。在图2c中,采用PPR做摩擦荷电材料,所有物料都荷正电,荷质比最高和最低分别是黄和蓝的 8.08 nC/g 、 2.62 nC/g ,而玻璃纤维 3.35 nC/g 介于两者之间,不能进行分离。在图2d中,采用PTFE做摩擦荷电材料,虽然每种物料荷质比都很大,最高是 14.79 nC/g 的灰,最低是 2.82 nC/g 的蓝,玻璃纤维 8.98 nC/g ,有机物与无机物均荷正电,也不具有可选择性。在图2e中,采用PMMA做摩擦荷电材料,其中有机组分均荷负电,荷质比最大为 -7.12 nC/g 的黄色,玻璃纤维带正电,荷质比为 6.21 nC/g ,两者差值 13.33 nC/g ,能够根据电性差异进行有效分离。

选取1、4和7#槽的物料进行扫描电镜分析,结果见图4所示。可以直观地看出具有较好的分选效果,其中1#槽主要以细棒状玻璃纤维为主,而7#槽主要以不规则的有机组分为主,在4#槽中不规则的有机组分的比重稍大一些。

3 结 论

本研究表明,用摩擦电选法可以从废弃线路板中回收有机组分。线路板中各组分荷质比的测量结果显示,当采用PMMA做摩擦荷电材料时线路板中有机组分和玻璃纤维所带电性完全相反,并且荷质比差异较大,有利于静电分选,因此PMMA适合用途用作摩擦材料。摩擦静电分选结果显示,靠近两极板收集槽中的产物产率较大,且靠近正极收集槽中产物的烧失量较高,达到了81.42%。

参考文献:

- [1] Robinson BH. E-waste: an assessment of global production and environmental impacts [J]. *Sci. Total Environ.* 2009, 408:183-191.
- [2] Goosey M, Kellner R. Recycling technologies for the treatment of end of life printed circuit boards (PCBs) [J]. *Circ. World*, 2003, 29:33-37.
- [3] Grossman E. High Tech Trash: Digital Devices, Hidden Toxics, and Human Health, 2007.
- [4] LaDou J. Printed circuit board industry. *Int. J. Hyg. Environ. Health* [J]. 2006, 209:211-219.
- [5] Petter PMH, Veit HM, Bernardes AM. Evaluation of gold and silver leaching from printed circuit board of cellphones [J]. *Waste Manage.* 2014, 34:475-482.
- [6] Behnamfard A, Salarirad MM, Veglio F. Process development for recovery of copper and precious metals from waste printed circuit boards with emphasize on palladium and gold leaching and precipitation [J]. *Waste Manage.* 2013, 33:2354-2363.
- [7] Habib M, Miles NJ, Hall P. Recovering metallic fractions from waste electrical and electronic equipment by a novel vibration system [J]. *Waste Manage.* 2013, 33:722-729.
- [8] 曾伟民, 朱海珍, 叶子婕, 等. 生物湿法冶金技术回收废弃线路板中有价金属的研究进展 [J]. *有色金属科学与工程*, 2013(01):26-30.
- [9] Fujita T, Ono, H, Dodbiba G, Yamaguchi K. Evaluation of a recycling process for printed circuit board by physical separation and heat treatment [J]. *Waste Manage.* 2014, 34:1264-1273.
- [10] Hao J, Wang HF, Chen SH, Cai B, Ge LH, Xia WC. Pyrolysis characteristics of the mixture of printed circuit board scraps and coal powder [J]. *Waste Manage.* 2014, 34:1763-1769.
- [11] Guan J, Li YS, Lu MX. Product characterization of waste printed circuit board by pyrolysis [J]. *J. Anal. Appl. Pyrol.* 2008, 83:185-189.
- [12] Li, J, Duan H, Yu K, Liu L, Wang S. Characteristics of low-temperature pyrolysis of printed circuit boards subjected to various atmosphere [J]. *Resour. Conserv. Recycl.* 2010, 54:810-815.
- [13] 孙路石. 废弃印刷线路板的热解机理及产物回收利用的试验研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
- [14] Zhang G, Wang Haifeng, Zhang Tao, Yang Xing, Xie Wein-ing, He Ya-qun. Removing inorganics from nonmetal fraction of waste printed circuit boards by triboelectric separation [J]. *Waste Management*, 2016(49):230-237.

Recycle the Organic Components in WPCB by Friction Electrostatic Separation

Chen Wen, ZhangGuangwen, Yang Xing, Wang Haifeng, Gao Bo, Wu Rui-rui, Ding Chaoqiong

(School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu, China)

Abstract: In this study, triboelectric separation was adopted to recycle the organic components from the waste printed circuit boards (WPCB), and measured the electrical properties of nonmetallic ingredient in WPCB and the separation results under optimal conditions were given. The results of Charge-mass ratio showed that organic components and fiberglass in WPCB charged the opposite charge and the biggest difference by using PMMA charger, which stated organic and inorganic in non-metallic components from WPCB will be separated by friction electrostatic separation. The separation results showed that the yield of production was mainly focused on the slots next to plates, the yield next to negative and positive plate was 27.22% and 51.71%, respectively and the ignition loss of production in slot next to positive plate reached to 81.42%. The study proved the feasibility of recycling the organic constituents from waste printed circuit board by using electrostatic separation and supplied an effective way to recycle and reuse the valuable compositions from waste printed circuit boards.

Keywords: Triboelectrosatic separation; WPCB; Organic components