

# 废弃线路板中金属资源的物理回收

王芳芳<sup>1</sup>, 赵跃民<sup>1,2</sup>, 张涛<sup>2</sup>, 王立章<sup>1</sup>, 段晨龙<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学环测学院, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学化工学院, 江苏 徐州 221116)

**摘要:**电路板或线路板作为电子电气设备的核心组成部分,是电子工业的基础。废弃线路板因具有资源性和危害性,近年来备受关注:无论是在发达还是发展中国家,从废弃线路板中回收金属的做法已盛行,然而废弃线路板中有毒有害组分对环境的污染不容忽视。因此,经济高效地回收 WPCBs 中的有用部分,尤其是重金属,并安全妥善地处置有害部分具有重要的现实意义。采用如破碎、筛分、重力分选、磁力分选或静电分选等物理方法,对废弃线路板进行破碎解离及金属富集是所有回收工艺中必要的前提步骤,相比其他方法也更为灵活有效。

**关键词:**物理法;线路板;破碎;分选;资源化

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.02.001

中图分类号:TD952 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)02-0001-07

## 1 废弃线路板的来源

随着新技术的开发,电子产品的价格逐渐降低,其更新换代的频率越来越频繁,废弃线路板(Waste Printed Circuit Board, WPCBs)的数量也急剧增加。

我国 WPCBs 的主要来源有两方面:一是在生产过程中产生的边角废料,我国是 PCBs 的生产大国,2012 年的生产量以及销售额已占全球总产量的 40%,预计未来三五年内将会接近全球的 45%~50%<sup>[1]</sup>,生产过程中边角料产率大约是 1%~2%<sup>[2]</sup>,因此每年会产生大量边角废料及不合格品,以覆铜板为主;二是来源于国内及国际走私的(包括通过一般贸易或加工贸易形式以旧机电产品名义进入国内)废旧电子电器产品,据联合国环境规划署统计称,全球约有 70%<sup>[3]</sup>的电子电器废弃物(Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEEs)通过各种途径进入我国,另据我国国家环保部统计,2008 年我国 WEEEs 年产量为  $111 \times 10^4$  t,预测 2020

年总产生量达到  $963 \times 10^4$  t<sup>[4]</sup>,以上部分拆除下来的 WPCBs 带电子元件。根据欧洲资源与废弃物管理中心统计数据<sup>[5]</sup>显示,WPCBs 大约占 WEEE 总重的 3.1%。

## 2 废弃线路板的资源性及危害性

WPCBs 的组成复杂多样,很难给出全面的组成分析,可简单分为金属和非金属类物质,其中金属含量大概占 28%,具有较高的经济价值。与天然资源相比,WPCBs 中金属含量远远高于这些金属在金属矿石中的品位<sup>[6-7]</sup>(见表 1),包括金、银、铂和钯等重金属,铜、铝、镍和锌等有色金属,铁和锰等多种黑色金属,且绝大多数金属是以单质形式存在<sup>[8]</sup>。WPCBs 中铜的含量约 10%~20%;1t WPCBs 中金和银含量可高达 300 g 和 5~10 kg。WPCBs 中的非金属组成约占 72%,包括约 19%的塑料,4%的溴,其他 49%主要是玻璃和陶瓷等<sup>[9]</sup>。

收稿日期:2015-12-02

基金项目:江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(KYLX15-1437)

作者简介:王芳芳(1986-),女,博士研究生,主要研究方向为电子废弃物资源化研究。

通讯作者:赵跃民(1961-),男,教授、博士生导师,主要研究方向为物电子废弃物资源化以及干法选煤,邮箱:ymzhao\_cumt@126.com。

表1 矿石和 WPCBs 中部分金属平均含量对比/%

Table 1 The average content of certain metals in the ore and WPCBs

金属含量	铜	锌	锡	铅	铁	镍
矿石	0.5 ~ 3.0	1.7 ~ 6.4	0.2 ~ 0.85	0.2 ~ 0.85	0.3 ~ 7.5	0.7 ~ 2.0
WPCBs	12.5	0.08	4.0	2.7	0.6	0.7

WPCBs 中还存在少量的有毒有害物质,如含溴阻燃剂、重金属等。现有资源化回收技术主要针对 WPCBs 中有价金属,对非金属组分的资源化和无害化研究较少,通常将其采用焚烧或填埋等不合理的方式进行处理,致使残余金属和阻燃剂等有害物质通过各种途径加速释放到环境中,造成严重污染<sup>[10-15]</sup>。

### 3 废弃线路板的物理回收法现状

为了防治电子废物污染环境,加强对电子废弃物的环境管理,我国《电子废物污染环境防治管理办法》于2008年2月1日起施行,规范拆解、利用、处置电子废弃物的行为以及产生、贮存电子废弃物的行为。

WPCBs 的回收利用过程一般可分为以下3个方面<sup>[16-23]</sup>:(1)预处理、拆解:人工拆解电气及电子设备,获得 WPCBs;(2)破碎、分选:将 WPCBs 机械破碎、筛分使得金属与非金属组分分别富集在不同

表2 WPCBs 中各种金属和非金属的物理性质

Table 2 Physical properties of metals and nonmetals used in waste printed circuit board

组分	Au	Ag	Pb	Cu	Ni	Fe	Sn	Zn	Al
密度/( $10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	19.32	10.49	11.34	8.93	8.90	7.70	7.29	6.92	2.70
磁性	-			弱	中	强			弱
电导率/( $10^6 \text{ m}^{-1} \Omega^{-1}$ )	41.0	68.0	5.0	59.0	12.5	0.7	8.8	17.4	35.0
组分	聚氯乙烯	聚乙烯	聚苯乙烯	聚丙烯	聚酰胺	合成橡胶			
密度/( $10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	1.16-1.38	0.71-0.96	1.04	0.90	1.14	0.85-1.25			
电阻率级数/ $\Omega \text{m}$	$10^{12}$	$10^{14}$	$10^{14}$	$10^{15}$	$10^{12}$	$10^{15}$			

#### 3.2.1 磁性分选

Veit 等<sup>[9]</sup>利用低磁场磁感应强度磁选机从 WPCBs 破碎产品中回收的铁磁性物质约为43%,串联使用磁选和静电分离,可将金属组分从聚合物和陶瓷中分离出来,产物中铜、锡、铅的平均含量超过50%、24%、8%。磁选能耗较低,且不会造成二次污染,但只能分离出铁磁性或弱磁性物质,不能将金属和非金属彻底分离,一般仅作为预分离处理手段,后

粒径的破碎产物中;(3)回收、提纯:通过化学及生物法提纯金属。

#### 3.1 破碎解离

单体的充分解离是实现高效分选的前提,为了充分有效地解离金属和非金属,破碎是 WPCBs 资源化的必要步骤。由于 WPCBs 中各种组分的力学性质、破碎性能不一<sup>[24]</sup>,如铜、银等延展性较好的金属以及韧性和弹塑性较强的玻璃纤维等组分,在拉力、压力或冲击力作用下通常仅发生弯曲、变形,在剪切力作用下易于断裂及粉碎,因此在破碎过程中一般在粗粒级中富集;塑料等脆性材料在破碎过程中也易在粗级别中富集;而锡、铟、铅等脆性金属,在冲击力作用下较易被粉碎,一般在较细粒级中富集。研究表明,以剪、切和冲击力作为主要作用力的旋转破碎机、锤式破碎机和冲击式破碎机等组合方式可实现 WPCBs 中的金属和非金属有效解离<sup>[25]</sup>。

#### 3.2 破碎产品的分选

破碎产品的分选技术大多来自于矿物加工领域,主要利用物质的物理性质差异来实现不同物质的分离,如密度、形状、导电性、磁性及表面化学性质等,WPCBs 中各物质的物理性质见表2<sup>[26-28]</sup>。目前常用的物理分选有磁力分选、涡电流分选、静电分选和气流分选等。

续结合涡电流分选或静电分选等设备可获得较好的金属回收效果。

#### 3.2.2 电选

由于金属和非金属导电性差异明显,电选是大部分优先采用的分选工艺。基于导电性能差异的电分离技术有三种:涡电流分选,静电分选,摩擦电选。其中摩擦电选多用于细粒级煤的分选<sup>[29-30]</sup>。

##### (1) 涡电流分选

涡电流分离原理见图3。涡电流分选现已被广泛应用于回收 WPCBs 破碎产物中的有色金属<sup>[27,31]</sup>。

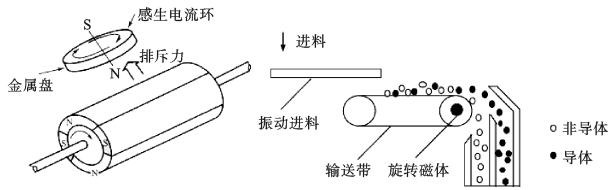
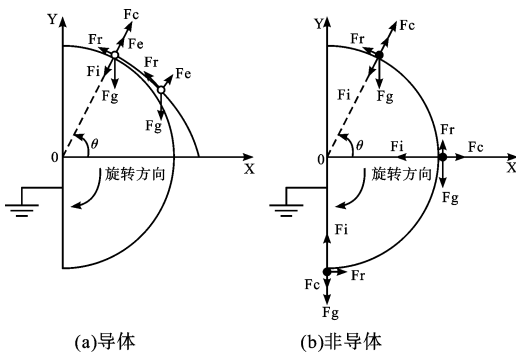


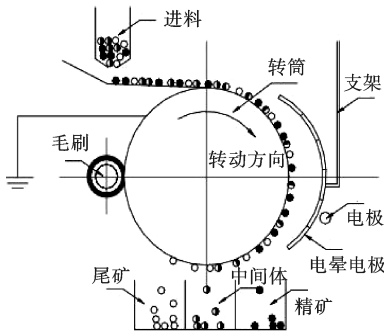
图1 涡电流分选原理及装置

Fig. 1 Principle and diagrams of eddy current separation



(a)导体

(b)非导体



Fr-空气阻力, Fe-静电力, Fc-离心力, Fg-重力, Fi-电像力。

图2 滚筒型静电分选原理及装置

Fig. 2 Principle and diagrams of electrostatic separation

从表2可知,铝的密度较其他金属轻,与塑料的密度最为接近,采用重力分选易将铝混入轻产物中,而根据电导率的特性,利用涡电流分选可将铝从轻产物中高效分离出来。涡电流分选适用于轻金属材料(如铝)与密度相近的材料(如塑料)之间的分离,但要求进料颗粒的形状规则和平整,且粒度应较大,一般大于5 mm<sup>[32]</sup>,如果粒度太小,金属内部产生涡流电流较小,金属与转筒之间的排斥力较小,便不能确保金属与非金属有效分离。

### (2) 静电分选

静电分选是在分选机内部构建静电场,其分离原理见图2<sup>[33-34]</sup>。胡利晓等<sup>[35]</sup>通过静电分选,铜和铝的回收率分别达到95%和90%。为了改善单辊式静电分选机诸如中间体需进一步处理,非金属产物不纯,分选过程的稳定性以及处理速度和分选质量之间的平衡等,吴江<sup>[36]</sup>提出了两级静电分选理念。静电分选具有工作稳定、能耗低、分选效率高且没有环境污染等优点,常用于回收 WPCBs 中的铜和铝等非铁金属<sup>[9,37-38]</sup>,且适用于较小粒径(0.1~5 mm)的物料。

### 3.2.3 密度分选

密度分选一般采用空气、水、重液或重悬浮液作为分选介质。密度分选由于设备结构简单,成本低廉,应用范围更广泛。在 WPCBs 回收中最常采用摇床分选和气流分选法。

#### (1) 摇床分选

摇床分水力和风力摇床两种,分离原理见图3<sup>[39-40]</sup>。借助床面的不对称往复运动和薄层斜面水流的综合作用,物料按密度大小呈扇形分布。对于 WPCBs 破碎物料,采用空气摇床回收,在1.2~0.5 mm 粒级分选效果最好,金属的回收率高达94.64%<sup>[40]</sup>;采用水力摇床分选,铜在重密度组分中的回收率高达99.67%,非金属物质在轻密度组分中的回收率为84.88%<sup>[41]</sup>,但水力摇床会产生大量含重金属的污泥和废水。

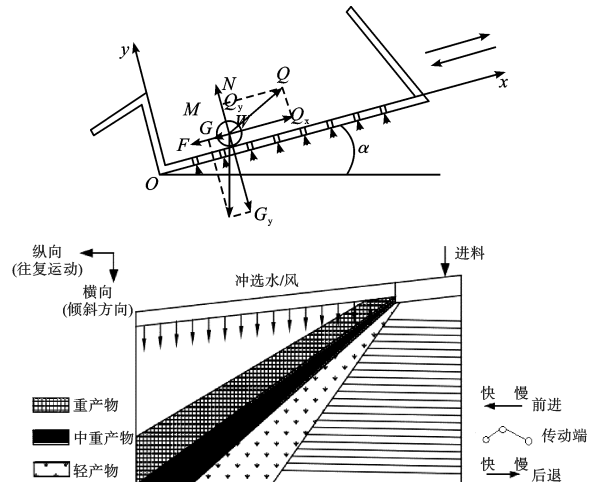


图3 水/风力摇床分选原理及装置

Fig. 3 Principle and diagrams of fluid/air float table separation

## (2) 气流分选

气流分选是以空气作为介质,利用垂直上升气流或水平气流对颗粒按密度大小进行分离的一种分选方式,其原理见图 4。

传统的气流分选难以实现物料宽粒级、多组份按密度为主导的分离。为了提高分选效率,国外早在 20 世纪 80 年代就对脉动气流分选装置和脉动气流分选原理进行了研究<sup>[42-43]</sup>,在国内,中国矿业大学何亚群教授<sup>[44]</sup>首次提出主动脉动气流分选方法,为 WPCBs 的回收利用提供了一种有效的新技术。图 5 为阻尼式/被动式脉动气流分选装置的两种结构形式。

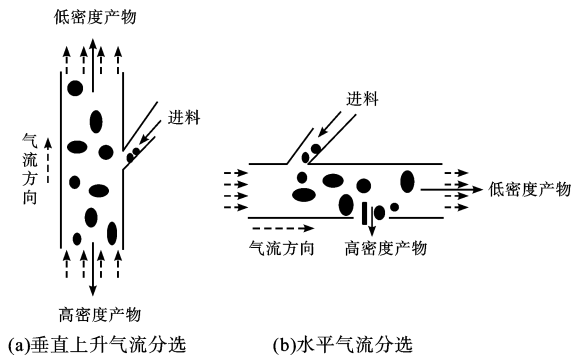


图 4 风力分选原理及装置

Fig. 4 Principle and diagrams of air separation

气流分选可提高 6% ~ 8%<sup>[47]</sup>。

### 3.2.4 表面化学性质分选

浮选主要指泡沫浮选,适于回收细粒级及微细粒级物料。谭之海<sup>[48]</sup>对 WPCBs 破碎产物中 <0.25 mm 粒级的物料进行浮选,金属回收率为 96.89%。苑仁财<sup>[49]</sup>发现 WPCBs 破碎产物浮选较佳粒度为 >0.2 ~ 0.45 mm,小于 0.45 mm 粒级其次,其金属回收率分别达到 96.24% 和 90.11%。浮选集分离与富集于一体,装置简单,易于实现自动化,在实际生产中具有很大的优势。

综上,WPCBs 的矿物加工回收工艺可分为干法和湿法两大类,主要组合工艺有以下三种:湿法破碎与水力摇床分选、干法破碎与干法分选、干法破碎与干湿混合分选。如采用磁选和重液分选的联合工艺回收 WPCBs 中 Fe、Cu、Pb、Zn、Ni 和 Sn 等金属的回收率分别高达约 100%、80%、65%、75%、88% 和 56%<sup>[50]</sup>。水力摇床、浮选等湿法分选的分选精度较高,但过程中有废水产生,为了避免产品干燥、废水处理及污泥处置等问题,磁选、电选、气力摇床和气流分选等干法分选将是机械处理技术的重要发展方向,其中在磁选和电选过程中不排放废水或废气,是环境友好和高效回收金属的方法。

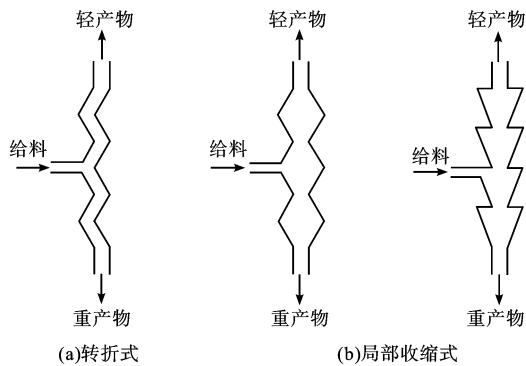


图 5 阻尼式脉动气流分选装置

Fig. 5 Scheme of passive pulsed air classifiers

王海锋<sup>[45]</sup>对粒径为 2 ~ 0.5 mm 的 WPCBs 破碎物料进行脉动气流分选,分选效率达 89.97%。段晨龙<sup>[46]</sup>采用阻尼式脉动气流分选铝和塑料,获得较高的分选效率。在阻尼式脉动气流分选机内,气流在阻尼块上部区域存在涡流现象,该现象有助于物料的分散,使颗粒按密度分离,总分选效率相比传统

## 4 废弃线路板中金属回收分析

根据“中国矿产资源可供性论证总报告”(国土资源部),中国有色金属矿石资源贫矿多,富矿少;共生矿多,单一矿少;中、小型矿床多,大型、超大型矿床少;小有色金属资源多,大有色金属(Cu、Al、Pb、Zn)资源少,且开采条件不理想,从采矿到冶炼的资源综合利用率仅为 30% ~ 35%。此外再生有色金属产量很低,仅为 15% ~ 20%,与国外发达国家的 30% ~ 40% 比例相比有很大差距<sup>[51]</sup>。矿产资源随着经济的快速发展而大量消耗,若将 WPCBs 回收利用,不仅可提高再生资源的利用率,同时也可节省开采、冶炼、加工等方面的能耗,对于环境保护和实现循环经济具有重要的现实意义。根据 Cuddington<sup>[52]</sup>和 Oguchi<sup>[53]</sup>的研究,从矿石中开采金属与从 WPCBs 中回收金属的类比见图 6,表 3 给出了循环利用物料多方面的益处<sup>[28]</sup>。

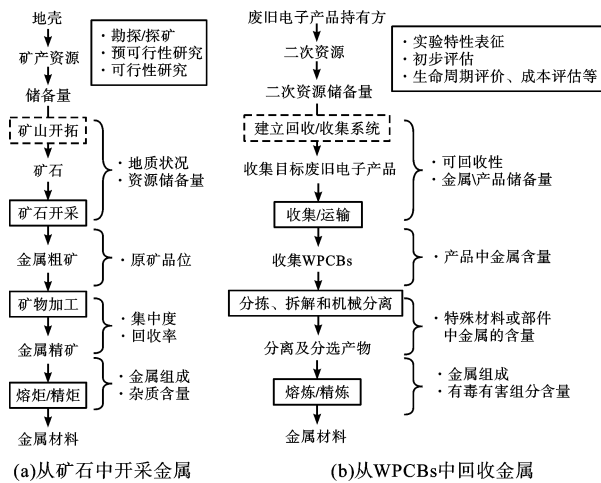


图6 从矿石中开采金属与从WPCBs中回收金属的程序对比

Fig. 6 Procedure analogy between natural resource utilization and metal recovery system from WPCBs

表3 循环物料与制造原材料相比节省能量的比率

Table 3 Recycled materials energy savings over virgin materials

物质名称	铝	铜	钢铁	铅	锌	塑料
节省能量/%	95	85	74	65	60	>80

## 5 结 论

随着材料科学的发展、生产工艺的改进,PCBs中贵金属使用量将逐渐减少,相反非金属材料使用量将增加,这使得非金属材料的回收利用也逐渐得到重视,因此贵金属为主要目标的传统回收工艺难以满足资源回收利用和环境保护的要求。今后WPCBs回收技术的基本发展方向是实现包括铁磁体、有色金属、贵金属和非金属等全部材料的再回收再利用。采用预处理和机械物理回收的方法处理具有成本低、投资小和低污染等优点,具有很强的适应性和可操作性,可将金属及非金属组份同时回收,实现资源化目的,较少考虑产品干燥和污泥处置等问题,符合当前的市场要求。

为了获得高纯度的产品,应将物理方法与其他方法合理地结合起来,借鉴国内外在该方面的成熟经验开展研究工作,综合考虑经济可行性、资源化效果、环境友好性和工业应用性等因素,加快新技术设备或新工艺的研发步伐,实现WPCBs的循环利用。此外,如何资源化过程中污染物的排放机理及二次

污染控制技术也应该得到深入研究。

## 参考文献:

- [1] <http://news.xinhua08.com/a/20130314/1137467.shtml>.
- [2] 陈锋. 废弃印制线路板中的环氧树脂回收处置技术[J]. 污染防治技术, 2006, 19(5): 44-46.
- [3] 傅建捷, 王亚韡, 周麟佳, 等. 我国典型电子垃圾拆解地持久性有毒化学污染物污染现状[J]. 化学进展, 2011, 23(8): 1755-1768.
- [4] 张伟, 蒋洪强, 王金南. 我国主要电子废弃物产生量预测及特征分析[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(6): 195-199.
- [5] Widmer R, Oswald-Krapf H, Sinha-Khetriwal D, et al. Global perspectives on e-waste[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2005, 25(5): 436-458.
- [6] 吴荣庆. 我国铜矿的资源特点与综合开发利用的成绩和不足[J]. 中国金属通报, 2008(06): 33-34.
- [7] 朱芬芬, 李金惠. 废电路板资源化技术及其发展趋势[A]. 欧盟 WEEE 和 ROHS 两个指令和中欧电子电气产品回收技术交流与合作研讨会论文集[C]. 2004.
- [8] 顾幅华, 戚云峰. 废旧印刷电路板的粉碎性能及资源特征[J]. 中国有色金属学报, 2004, 14(6): 1037-1041.
- [9] Veit H M, Diehl T R, Salami A P, et al. Utilization of magnetic and electrostatic separation in the recycling of printed circuit boards scrap[J]. Waste management, 2005, 25(1): 67-74.
- [10] Deng W J, Zheng J S, Bi X H, et al. Distribution of PBDEs in air particles from an electronic waste recycling site compared with Guangzhou and Hong Kong, South China. Environment International, 2007, 33(8): 1063-1069.
- [11] Tue N M, Takahashi S, Suzuki G, et al. Contamination of indoor dust and air by polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants and relevance of non-dietary exposure in Vietnamese informal e-waste recycling sites. Environment International, 2013, 51: 160-167.
- [12] Luo Q, Cai Z W, Wong M H. Polybrominated diphenyl ethers in fish and sediment from river polluted by electronic waste[J]. Science of the Total Environment, 2007, 383(1): 115-127.
- [13] Robinson B H. E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. Science of the Total Environment, 2009, 408(2): 183-191.
- [14] 赵国华, 罗兴章, 黄卓辉, 等. 废弃线路板中重金属形态分布特征[J]. 环境科学, 2009, 30(9): 2798-2803.
- [15] Sepúlveda A, Schluep M, Renaud F G, et al. A review of the environmental fate and effects of hazardous substances

- released from electrical and electronic equipments during recycling: Examples from China and India[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2010, 30(1): 28-41.
- [16] 白庆中, 王晖, 韩洁, 等. 世界废弃印刷电路板的机械处理技术现状[J]. 环境污染治理技术与设备, 2001, 2(1): 84-89.
- [18] 童昕. 电子废弃物资源化利用的现状与发展[J], 科技导报, 2002(8): 59-61.
- [19] 于宁涛, 铁占续, 王发辉. 废旧印刷电路板资源化研究综述[J]. 中国资源综合利用, 2011, 29(7): 21-24.
- [20] 张思多, 鞠美庭, 谢双蔚, 等. 废旧电路板中重金属回收技术综述[J]. 环境工程, 2009, 27(S1): 389-392.
- [21] Hoffmann J E. Recovering precious metals from electronic scrap [J]. Journal of Operations Management, 1992, 44(7): 43-48.
- [22] Cui J, Zhang L. Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review [J]. Journal of hazardous materials, 2008, 158(2): 228-256.
- [23] Lee J, Song H T, Yoo J M. Present status of the recycling of waste electrical and electronic equipment in Korea [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2007, 50(4): 380-397.
- [24] 赵跃民, 王全强, 焦红光, 等. 废弃电路板选择性破碎基础研究[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(6): 683-687.
- [25] 路洪洲, 李佳, 郭杰, 等. 基于可资源化的废弃印刷线路板的破碎及破碎性能[J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(4): 551-556.
- [26] 陈泉源, 柳欢欢, 朱凌云. 电子废弃物回收利用的物理分选技术[J]. 中国资源综合利用, 2006, 24(11): 6-10.
- [27] 张洪建, 王全强, 宋振玲. 废弃 PCB 中铝的涡电流分选研究[J]. 河北建筑科技学院学报, 2005, 22(4): 12-15.
- [28] Cui J, Forssberg E. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review [J]. Journal of Hazardous Materials, 2003, 99(3): 243-263.
- [29] 高孟华, 章新喜, 陈清如. 中梁山煤摩擦电选可选性研究[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(8): 68-71.
- [30] 马瑞欣, 石常省, 章新喜. 煤与单一矿物质在摩擦电选过程中的分离[J]. 中国矿业大学学报, 2010, 39(2): 270-274.
- [31] 吴彩斌, 王全金, 向速林, 等. 涡电流分选富集线路板中有价金属研究[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(6): 12-13.
- [32] 李步祥, 宋立岩, 吴季勇, 等. 我国电子废弃物管理与资源化对策[J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 10: 13-20.
- [33] Li J, Lu H, Guo J, et al. Recycle technology for recovering resources and products from waste printed circuit boards [J]. Environmental science & technology, 2007, 41(6): 1995-2000.
- [34] Wen X, Zhao Y, Duan C, et al. Study on metals recovery from discarded printed circuit boards by physical methods. Electronics and the Environment, 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on. IEEE, 2005: 121-128.
- [35] 胡利晓, 温雪峰, 刘建国, 等. 废印刷电路板的静电分选实验研究[J]. 环境污染与防治, 2005, 27(5): 326-329.
- [36] Wu J, Li J, Xu Z. Electrostatic separation for multi-size granule of crushed printed circuit board waste using two-roll separator [J]. Journal of Hazardous materials, 2008, 159(2): 230-234.
- [37] 温雪峰, 范英宏, 赵跃民, 等. 用静电选的方法从废弃电路板中回收金属富集体的研究[J]. 环境工程, 2004, 22(2): 78-80.
- [38] 余璐璐, 许振明. 高压静电分选技术在回收废旧电路板中的研究进展[J]. 材料导报, 2011, 25(11): 139-145.
- [39] 李佳. 废旧印刷电路板的破碎和高压静电分离研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [40] 周翠红, 路迈西. 空气摇床分选废旧电路板[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006, 3.
- [41] 李静. 从废旧印刷电路板中回收铜并制备超细铜粉新工艺研究[M]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [42] Peirce J J, Wittenberg N. Zigzag configurations and air classifier performance [J]. Journal of Energy Engineering, 1984, 110(1): 36-48.
- [43] Stessel R I, Peirce J J. Comparing pulsing classifiers for waste-to-energy [J]. Journal of energy engineering, 1986, 112(1): 1-13.
- [44] 何亚群. 主动脉动气流分选机理及其在电子废弃物处理中的应用研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2007.
- [45] 王海锋, 宋树磊, 何亚群, 等. 电子废弃物脉动气流分选实验研究[J]. 中国矿业大学学报, 2008, 37(3): 379-383.
- [46] 段晨龙, 何亚群, 赵跃民, 等. 阻尼式脉动气流分选装置处理电子废弃物的基础研究[J]. 环境工程, 2005, 23(4): 53-55.
- [47] 何亚群, 王海锋, 段晨龙, 等. 阻尼式脉动气流分选装置的流场分析[J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(5): 574-578.
- [48] 谭之海, 伍玲玲, 段晨龙. 浮选处理 <0.25 mm 粒级废弃印刷电路板的试验研究[J]. 环境污染与防治, 2011, 33

(11):20-23.

[49]苑仁财,李桂春,康华,等. 废旧印刷电路板粉碎及浮选分离[J]. 中国粉体技术,2012,18(3):66-68.

[50]马国军,刘洋,苏伟厚,等. 采用磁选和重选回收废旧电路板中的金属[J]. 武汉科技大学学报,2009,32(3):296-299.

[51]屠海令,赵国权,郭青蔚. 有色金属-冶金材料,再生与

环保[J]. 稀有金属,2003,27(5):560-560.

[52]Cuddington J T. An analogy between secondary and primary metals production[J]. Resources Policy,2008,33(1):48-49.

[53]Oguchi M,Murakami S,Sakanakura H, et al. A preliminary categorization of end-of-life electrical and electronic equipment as secondary metal resources [J]. Waste management,2011,31(9):2150-2160.

## Adaptation of Mechanical Recycling Operations for Metal Resource in Waste Printed Circuit Board

Wang Fangfang<sup>1</sup>, Zhao Yuemin<sup>1,2</sup>, Zhang Tao<sup>2</sup>, Wang Lizhang<sup>1</sup>, Duan Chenlong<sup>2</sup>

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu, China;

2. School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu, China)

**Abstract:** Printed circuit board (PCB) and/or Printed wire board (PWB), the base of the electronic industry, is an indispensable part of almost all the electric and electronic equipments (EEEs). Possessing characteristics of resources and perniciousness, waste PCB (WPCB) has received extensive attention in recent years; the recovery of valuable metals contained in WPCB is currently popular in both developed and developing countries, as well as the contamination by the hazardous components to the environment is gaining in concern. Therefore, it is of immediate significance to develop an efficient recycling process to recover the valuable parts of WPCB, especially the precious metals, and safely and properly dispose the harmful ones without sacrificing the economics. Adopting mechanical processing operations such as grinding, sieving, gravity, magnetic or electrostatic separations is a necessary premise to liberate and concentrate valuable metals, and it is more flexible and available than any other recycling processes.

**Keywords:** Mechanical processing; Printed circuit board; Crushing; Separation; Recycling

(上接 14 页)

## Research Status and Development of Mineral Processing Technology of Fine Grain Tungsten Tin Ore

Liu Zishuai, Li Ningjun

(Guangxi Metallurgical Research Institute Co., Ltd., Nanning, Guangxi, China)

**Abstract:** Micro fine grain tungsten tin mineral is difficult to choose, whose production index is low, and it is one of the difficult problems in the world. This article reviews from the current development of fine grain tungsten tin ore dressing and processing agents, obtaining that fine grain tungsten tin recovery should not be used in single process, but gravity flotation combined process, with efficient recovery of tungsten tin slime separation equipment, to ensure the recovery rate of tungsten tin concentrate enrichment, then under the premise of using flotation method the tungsten tin enrichment ratio significantly increased. Flotation combined process makes full use of the advantages of gravity separation and flotation, which can ensure the quality of concentrate, and improve the recovery rate of concentrate, and this kind of combined process has good promotion prospects of tungsten tin slime.

**Keywords:** Fine grain; Tungsten tin; Flotation; Gravity; Research status