

废旧家用电器的机械破碎与分选技术

阎利^{1,2}, 刘应宗¹, 黄文雄³

(1. 天津大学管理学院, 天津 300072; 2. 安阳工学院建筑工程系, 河南安阳 455000;
3. 中外建设信息技术有限公司, 北京 100037)

[摘要] 简要分析了废旧家用电器的材料组成、联结方式, 以及发达国家废旧家用电器处理技术现状, 详细阐述了废旧家用电器的机械破碎和机械分选技术, 介绍了国内外废旧家用电器成套处理设备的研究开发进展, 并提出了适合我国国情的废旧家用电器处理的工艺技术路线。

[关键词] 废旧家用电器; 破碎; 分选; 循环经济

[中图分类号] X705 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)12-0024-07

1 引言

电子电气设备(EEE, electrical and electronic equipment)是指依靠电流或电磁来实现正常工作的设备, 以及生产、转换、测量这些电流和电磁的设备; 其设计使用的电压为交流电不超过1 000 V或直流电不超过1 500 V。家用电器(household appliance)是电子电气设备中的重要组成部分, 最常用的家用电器包括电视机、电冰箱、洗衣机和空调器4种。废旧家用电器的回收、处理和再生利用已成为近来国内外广泛关注的热点问题。

目前我国电视机的社会保有量约为3.2亿台, 洗衣机约为1.5亿台, 电冰箱约为1.1亿台。这些电器大多是在20世纪80年代中后期投入使用的, 在最近几年内我国将出现一个废旧电器更新换代的高峰^[1]。废旧家用电器中含有大量可回收的有色金属、黑色金属、塑料、玻璃以及一些仍有使用价值的零部件, 数量如此巨大的废旧电器中蕴藏着大量的资源, 是与天然资源同等重要的“城市矿山”。在我国经济持续快速发展、各种天然资源日益紧缺的背景下, 尽快展开对废旧家用电器资源化的深入研究, 尤其具有现实的紧迫性。

废旧家用电器中含有大量重金属和其他有毒有害成份, 直接填埋或焚烧必将造成空气、土壤和水体的严重污染^[2]。欧盟2003年通过的WEEE指令和RoHS指令, 明确提出将实行“生产者延伸责任制”(extended producer responsibility), 并规定从2006年7月1日起, 投放欧盟市场的新电子和电气设备不可包含铅、汞、镉、六价铬、聚溴二苯醚(PBDE)或聚溴联苯(PBB)等物质。这不仅对欧盟国家、也对我国的家用电器制造商提出了技术挑战。

循环经济的核心内涵是资源的循环利用, 它内在要求经济运行遵行“4R”原则, 即减量化(reduction)、再利用(reuse)、再循环(recycling)和再制造(remanufacturing)的原则^[3,4]。废旧家用电器的处理处置作为循环经济理念在实践环节中的一个重要问题, 涉及到环境保护、资源利用、劳动就业等诸多领域, 关系到中国可持续发展战略的顺利实施, 已越来越引起国内公众和学术界的广泛关注。

2 国内外废旧家用电器处理处置现状及我国的对策

2.1 国内外废旧家用电器处理处置现状

[收稿日期] 2004-12-06; **[修回日期]** 2005-03-02

[作者简介] 阎利(1975-), 男, 河南安阳市人, 天津大学管理学院博士研究生, 主要研究领域: 工程材料、工程管理; 刘应宗(1945-), 男, 山西临猗县人, 天津大学教授, 博士生导师

目前我国废旧家用电器的处理主要有两种方式：一种是将尚有使用价值的旧电器拆解、拼装后，销售给城乡低收入群体或流动群体。这在一定程度上造成家用电器使用上的安全隐患。另一种是将完全丧失使用功能的废电器，在未采取任何环保措施的情况下，采用酸洗、火烤等方式进行人工拆解和分选，仅对其中很小部分资源（如废钢铁、部分废有色金属等）再生利用，其他废弃物就地堆放、填埋或焚烧。这种方式在浙江和广东的部分地区普遍存在，一方面造成了资源的严重浪费，另一方面对当地的生态环境造成严重的破坏。它碍于我国可持续发展战略的实施，不应成为我国废旧家用电器处理技术发展的方向。

发达国家普遍采用高度机械化的技术来处理废旧家用电器。与湿法（酸洗）和火法相比，机械处理方法因不需要考虑产出品的干燥、污水污泥处理和二恶英（dioxin）排放等问题，工艺路线简洁流

畅，便于流水线作业，具有技术上的优越性。欧洲国家的人工费用较高，故普遍采取整机破碎、机械分选处理的技术路线。日本考虑到本国自然资源匮乏的国情和充分提高资源回收率、提高回收材料纯度等原因，同欧洲国家的处理工艺相比，在以机械处理为主的流程中相对较多地加入了人工拆解工序，具有合理性和借鉴意义。

2.2 我国废旧家用电器再生利用的主要内容

按照循环经济的理念和原则，参考发达国家的成功经验，充分考虑我国国情，笔者提出了我国废旧家用电器的再生利用的技术路线（见图 1）。该路线较多地采用了人工拆解和人工分选，可最大限度地提高分选后各种材料的纯度，增加产出品的附加价值。非人工处理的部分主要包含机械破碎和分选、可用零部件的再制造和有毒有害物质的无害化处理等三方面内容。

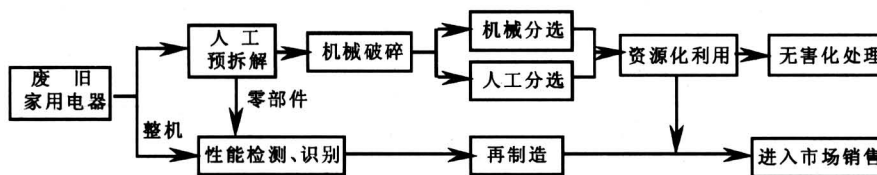


图 1 废旧家用电器再生利用的技术路线

Fig.1 Proposed recycling process of waste household appliances in China

机械破碎和分选是实现废旧家用电器资源化利用的重要手段，主要包括剪切破碎、锤击破碎、磁选、静电分选、涡流分选、跳汰分选等。这些方法大多借鉴自矿物加工工程，有些技术也应用于城市固体废弃物（MSW, municipal solid waste）的处理。笔者在分析废旧家用电器的材料组成和联结方式的基础上，对适合于废旧家用电器处理的破碎、分选技术和设备进行详细论述。

3 家用电器的成分结构分析

3.1 材料组成

电视机、电冰箱、洗衣机和空调器是最常见的家用电器，其材料组成及各种材料所占比重见表 1。对于不同电器所组成的混合物，其各种材料所占比重为：钢铁 38%，有色金属 28%，塑料 19%，玻璃 4%，其他材料 11%^[2]。这些数据是分析计算废旧家用电器处理工厂的能量平衡和材料平衡所必需的。

3.2 零部件间的组合方式

家用电器中各种零部件和材料间的结合可以分为联结方式和掺杂方式。联结方式有紧固（利用螺钉、铆钉等固定）、嵌入、焊接、粘结、缠绕、电镀等。掺杂方式包括填充、合金、密封、包装等^[5]。

表 1 常见家用电器的材料组成 (wt%)

Table 1 Materials composition of typical household appliances (percentage by weight)

材料	电视机	电冰箱	洗衣机	空调器
钢铁	10	50	53	55
铜	3	4	4	17
铝	2	3	3	7
塑料	23	40	36	11
玻璃	57	—	—	—
其他	5	3	4	10

(资料来源: <http://panasonic.co.jp/eco/en/metec/index2.html>)

与天然矿物的破碎分选相比,从家用电器中分选出各种需要的组分相对较容易,其原因在于电子设备中各种零部件或材料之间相对较弱的结合力。一般,通过紧固、嵌入、缠绕和包装等方式联结在一起的材料易于分开,但通过电镀、粘结、密封在一起的材料较难分离,尤其是通过合金和填充方式结合在一起的材料必须借助于化学方法,无法用常规的机械手段分离开来。

4 废旧家用电器的机械破碎技术

破碎分为干式、湿式和半湿式破碎三种。干式破碎最为普遍,又分为机械能破碎和非机械能破碎。目前广泛应用的是机械能破碎,它是直接从采矿工业部门借鉴而来的机械破碎方法,破碎作用包括挤压、摩擦、剪切、冲击、劈裂、弯曲等,其中前三种是破碎机通常使用的基本作用。非机械能破碎是利用电能、热能等非机械能的方法对废弃物进行破碎的新方法,包括低温破碎、热力破碎、减压破碎及超声波破碎等^[6]。

废旧家用电器在破碎后需进行磁选、电选、密度分选等多种分选工艺,这些工艺要求入料颗粒较细,而一段式破碎无法达到细度要求,所以往往根据实际需要几台破碎设备依次串联起来组成多段式破碎流程,总破碎比(i)等于各段破碎比(i_1, i_2, \dots, i_n)之乘积。

$$i = i_1 \times i_2 \times \dots \times i_n$$

最常用的破碎设备主要有锤磨机、锤磨机、切碎机和旋转破碎机等。由于废旧家用电器成分复杂,例如拆除元器件后的废电路板主要由强化树脂板和附着其上的铜线等金属组成,硬度较高、韧性较强,第一级破碎一般采用具有剪切作用的破碎设备(如切碎机),以达到良好的解离效果^[7,8]。切碎机主要依靠旋转切刀和固定切刀之间的剪切力破碎物料,解离的金属(尤其是铝)也不易缠绕。第二级破碎时可以采用锤磨机、锤磨机或其他设备,以达到所需的破碎程度。

瑞典的 Scandinavian Recycling AB 公司开发了一种轮腔式破碎机(见图2)。中间转筒周围安装着一套能够自由旋转的破碎环,依靠破碎环与设备内壁之间的剪切作用破碎物料,使用这种破碎机可以减小解离后软质金属(特别是铝)的缠绕作用。

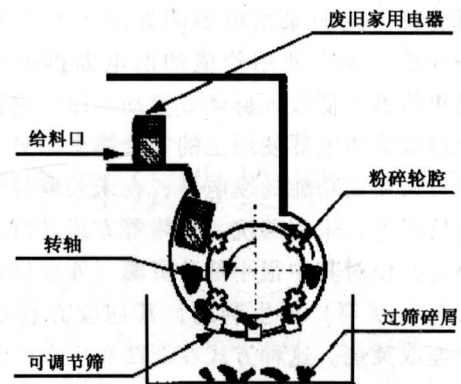


图2 轮腔式破碎机剖面图^[6]

Fig.2 Illustration of cross-section of a ring shredder

5 废旧家用电器的机械分选技术^[2, 5~22]

5.1 筛选分离

筛分是最常用的分选工艺之一,用于制备统一粒径范围的物料。与塑料、陶瓷等材料相比,金属的颗粒大小和形状不同,因而使用滚轴筛或振动筛等筛分设备处理,可以提高废弃物中金属的含量。

5.2 形状分离

形状分离技术是粉体工业中用来控制颗粒性质的一项技术。它利用了不同形状的颗粒性能的差异,即颗粒在倾斜面上运动速度的差异;颗粒通过筛孔的时间差异;颗粒与倾斜面之间内聚力的差异;颗粒在液体中沉淀速度的差异。其中,在倾斜面上振动过筛的方法广泛应用于回收处理行业,可以从废电缆或废印制电路板的破碎颗粒中回收铜。

5.3 磁选技术

磁选是利用废电器中各种材料的质量磁化系数不同(见表2),借助于磁力和机械力分离铁磁金属与非金属的技术。根据磁场强度可分为低磁、中磁和高磁磁选机,按选别方法可分为干式和湿式磁选机,按产生磁场方法可分为电磁式磁选机和永磁式磁选机,按结构不同可分为筒式、盘式、辊式、环式、转鼓式、转笼式和带式磁选机等。用于废旧家用电器的磁选机一般为干式电磁磁选机,磁场强度越高,分选效果越好。

5.4 基于材料电学性能的分选技术

不同材料具有不同的电学性能,基于这一性能差别的分选技术主要有涡流分选、电晕静电分选、

摩擦静电分选三种（见表 3）。

表 2 家用电器中铜合金的磁化系数^[2,21]

Table 2 Magnetic susceptibilities of copper alloys used in household appliances

材料	铁含量	质量磁化系数, χ / $\times 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	主要用途
铝青铜	2%~4%	6.5~11.5	高强度的耐磨耐腐蚀零件
锰青铜	1.5%~3%	0.7~2.4	电子仪表材料等
特殊黄铜	0.7%~1.2%	1.3~5.8	高强、高切削性、热压耐腐蚀的机械结构零件
普通黄铜	<0.2%	<0.1	一般机械零件、冷凝散热用管、蛇形管等
锡青铜	<0.2%	<0.1	弹簧、耐磨零件及抗磁零件

注： χ 系在磁场强度为 325 kA/m 下测得的数据

表 3 基于材料电学性能的机械分选工艺一览表^[2]

Table 3 Mechanical separation processes based on electric characteristics of materials

工艺名称	依据的性能	分选原理	可采用该工艺分选的材料	可行的材料粒径范围
涡流分选	导电性、密度	交变磁场和涡电流的相互作用对导电颗粒产生的排斥力（洛伦兹力）	有色金属/非金属的分选	>5 mm
电晕静电分选	导电性	不同材料的导电性能不同，导致不同材料颗粒在电晕电场中表面所带电荷不同，从而产生不同的作用力	金属/非金属的分选	0.1 ~ 5 mm（10 mm，对薄片状材料）
摩擦静电分选	摩擦荷电性能	不同材料的摩擦荷电性能不同（可能是正电荷或负电荷），从而使材料的受力方向和大小不同	不同塑料的分选（非导体）	<10 mm

5.4.1 涡流分选 是一种在固体废弃物中回收有色金属的有效方法^[2-10]。其分选原理为：当含有非铁磁性金属（如铜、铅、锌等）的废物流以一定的速度通过一个交变磁场时，这些非铁磁性金属内部会产生感应涡电流。由于废物流与磁场有一个相对运动的速度，从而对产生涡流的金属片产生一个分离推力。分离推力的方向与磁场方法及废物流的方向均呈 90° 夹角。并随废物的固有电阻、磁化系数等特性及磁场密度的大小和变化速度而异。利用

此原理设计的磁选设备可以使有色金属从混合废物流中分离，或者实现轻有色金属材料与比重相近的塑料材料之间的分离。图 3 为涡流分选设备的示意图。

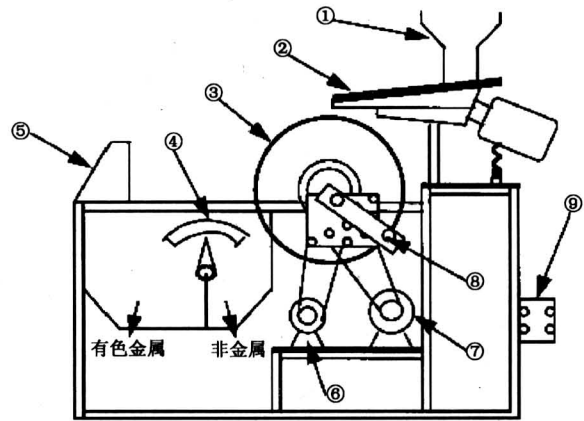


图 3 High-Force® 涡流分选设备示意图^[9]

Fig.3 Schematic of the High-Force® eddy-current separator

1—进料斗；2—振动式给料器；3—机壳；4—分流叶片；5—集料箱；6—机壳传动马达；7—辊传动马达；8—辊调节器；9—控制面板

5.4.2 电晕静电分选 电晕荷电是从非良电导体中分选良电导体的最常用的荷电方法。电晕静电分选属于复合电场分选，根据不同材料导电性能不同的特点（见表 4），用以分选金属和非金属^[2,10,14]。其工作原理为：电场由曲率半径相差很大的电晕电极（带负电）和辊筒电极（带正电）组成。两电极间施加高电压，形成非均匀电场，在曲率半径较小的电晕电极附近发生电晕放电，使空气分子电离。空气中的负离子飞向正极，与进入电场的各种物质碰撞而使其均带负电。但是，导电性质不同的物质进入电场后所表现行为不同。导电性良好的物质将负电荷迅速传给正极而不受正极作用。导电性差的物质传递电荷的速度很慢，受到正极的吸引作用，二者的运动轨迹产生差异，从而达到分选的目的。电晕静电分选是废旧家用电器处理中常用的分选方法，可以从破碎的电缆中分离铜、铝，以及从破碎后的印制电路板中分离铜和贵金属。

5.4.3 摩擦静电分选 采用摩擦荷电方式的静电分选技术适用于两种介质材料的分选，目前主要用于分选各种废塑料^[13-16,20]。由于不同种类塑料的电性能不同，在相同条件下，不同塑料的带电极性

及带电倾向也不同。不同塑料的摩擦带电序列如图4所示。

表4 家用电器中常见金属的密度和电导率^[2]

Table 4 Density and electric conductivity of metals in household appliances

名称	密度, ρ / $\times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	电导率, σ / $10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$
纯铜	8.93	59.0
铝	2.70	35.0
镁	1.74	23.0
银	10.49	68.0
锌	7.14	17.4
金	19.32	41.0
黄铜 (不含铁)	8.40	15.0~26.0
镍	8.90	12.5
锡	7.29	8.8
铅	11.34	5.0
铁合金	7.7	0.7

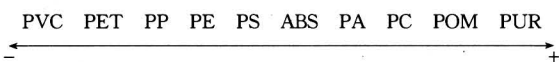


图4 塑料的摩擦荷电序列^[13]

Fig. 4 Triboelectric charging sequence of plastics

以磁鼓电极接触式静电分离技术为例,其基本原理为:分选机由形成静电磁场的回转磁鼓电极和对向的板式电极组成。将摩擦后带电的塑料和回转电极接触并供给静电场,因其离心力和静电力的复合作用,使从回转电极上甩出落下的塑料颗粒由于电位不同而呈现不同轨迹并产生一定的距离,用带有隔板的容器进行分类收集,从而实现不同种类塑料的分选^[20]。

5.5 密度分选技术

利用物料间密度的差异进行分离的技术称为密度分选技术。其理论基础主要有三种:一是垂直重力场中物料粒群按粒度分层、分离原理,二是斜面重力场中物料按密度分层、分离原理,三是离心力场(回转流)中物料颗粒按密度分层、分离原理。密度分选技术要求不同物料的进料尺寸和形状不能相差太大,否则无法进行有效分层。因此破碎后必须仔细分级,采用窄级别物料进行分选。跳汰分选和风力摇床分选是废旧家用电器处理中常用的密度分选方法^[2,6,18]。

6 废旧家用电器成套处理技术与设备

废旧家用电器的破碎和分选涉及较多种类的工

艺和设备,需要开发成套的专用设备以满足规模化处理的需要。成套设备须将不同工艺有机联结起来,整合各种单机设备,充分体现先进、适用、经济的特点,使得整条生产线工艺流畅,运行稳定可靠,单机负荷适当,既能完好地实现各项功能,又不造成单机设备处理能力的闲置和浪费^[19]。

发达国家已将开发出的这类专用成套设备应用于实践。例如德国 AU + T 公司开发的成套设备,包括一般电子废弃物处理线和电冰箱专用处理线。一般电子废弃物处理线用于除电冰箱之外的其他废旧家用电器的处理,而电冰箱专用处理线的不同之处是在破碎时采用完全密闭的工艺,用以提取出电冰箱聚氨酯绝热材料中的 CFCs 发泡剂。上述两种处理线均包含以下 5 个工艺过程:粗分选(手工拆除特殊零部件,如压缩机、电容、电机、变压器等);横向粉碎并将重物料和轻物料分类(包括磁选、重力分选等工艺);锤磨粉碎并进行筛分和进一步的轻重物料分类;干选分离(分离出金属和塑料);静电分离(进一步分离出细小的金属颗粒)。通过上述处理最终可以得到钢铁、铜铝、塑料的碎片和电冰箱聚氨酯发泡材料粉末。对废旧家用电器进行整机破碎和完全机械分选是这类设备的特点,运行成本相应较高,若应用于我国工程实践必须进行一定的改进。

日本自 2001 年实施《家用电器再生法》以来已在全国相继建立了 40 座专门处理废旧家用电器的工厂,废旧电器在破碎前一般最大程度地进行人工拆解^[13]。图 5 为 NKK 公司的工艺流程,它主要由人工拆解系统和破碎分选系统两部分组成。人工拆解系统主要由手动拆解工具、称量装置、工作架和氟利昂抽提系统组成。破碎分选系统包括破碎机、风力分选机、旋风分离机、磁选机、涡流分选机、聚氨酯泡沫压实机和氟利昂收集系统等。该工厂年处理能力为 80 万台废旧家用电器(4 种主要家用电器的总和),结构简单、性能可靠是其对所选用设备的基本要求^[17]。

我国也自主开发了可用于废家用电器处理的成套设备。如湖北力帝机床股份有限公司开发的 PSX-6080 型废钢破碎生产线(见图 6),可以对废汽车、家用电器和其他适合破碎加工的废钢铁进行破碎、分拣、净化处理,得到理想的优质废钢,满足钢厂“精料入炉”的要求。该生产线主要是针对回收废钢设计的,对有色金属主要采用人工分选,但

无法分选各种塑料，且欠缺对有毒有害物质无害化 处理方面的设计，因而仍有不断改进完善之处。

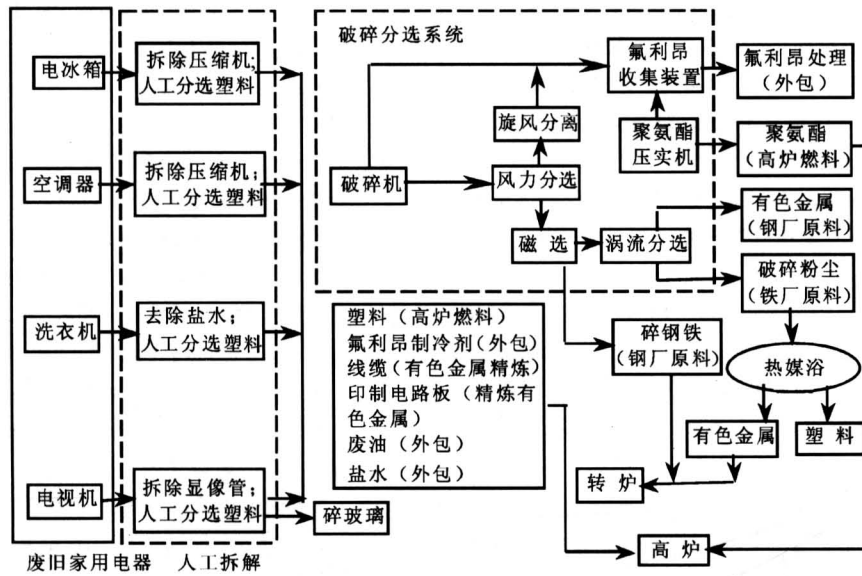


图 5 日本 NKK 公司废旧家用电器处理流程图^[17]

Fig.5 Flowchart of waste household appliance processing in NKK Trienekens Co., Japan

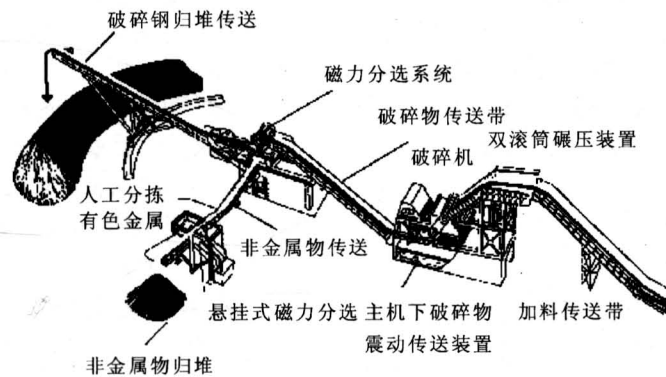


图 6 PSX-6080 型废钢破碎生产线流程图

Fig.6 Flowchart of PSX-6080 steel scrap crushing streamline

7 结语

废旧家用电器的机械破碎和分选技术大多借鉴自采矿选矿工程，并非全新的技术领域，但这并不意味着这些工艺和技术毫无进一步深入研究的必要。相反，由于我国对废旧家用电器处理问题的认识起步较晚，更有必要针对这一问题进行专项的理论探讨和实证研究，以尽快制定出适合我国国情的技术工艺路线，积累在我国具有普遍意义的原始实验数据，开发出具有我国自主知识产权的成套处理设备。国家发展和改革委员会于 2004 年 10 月批复了关于在天津和青岛两地建设废旧电器再生利用示

范工程的可行性研究报告，这必将推动我国的废旧家用电器处理尽快步入实践环节。我国应充分学习发达国家的成功经验，密切跟踪其技术进展，发挥后发优势，走出符合中国国情的废旧家用电器处理之路。

致谢：感谢中国有色金属工业再生资源公司为本文提供资助。

参考文献

[1] 张友良, 田 晖. 积极开展中国废家用电器回收利用[J]. 家用电器, 2000, (8): 2~3

- [2] Jirang Cui, Eric Forsberg. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review[J]. Journal of Hazardous Materials, 2003, B99: 243~263
- [3] 陈德敏. 循环经济的核心内涵是资源循环利用[A]. 2004年中国循环经济发展论坛论文选编[C]. 上海: 2004年11月
- [4] 徐滨士, 刘世参, 李仁涵, 等. 废旧机电产品资源化的基本途径及发展前景研究[J]. 中国表面工程, 2004, (2): 1~6
- [5] Shunli Zhang, Eric Forsberg. Mechanical separation-oriented characterization of electronic scrap[J]. Resources, Conservation and Recycling, 1997, 21: 247~269
- [6] 杨惠芬. 固体废物处理技术及工程应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003
- [7] Shunli Zhang, Eric Forsberg. Intelligent liberation and classification of electronic scrap[J]. Powder Technology, 1999, 105: 295~301
- [8] 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
- [9] Shunli Zhang, Eric Forsberg, Bo Arvidson, et al. Separation mechanisms and criteria of a rotating eddy-current separator operation[J]. Resources, Conservation and Recycling, 1999, 25: 215~232
- [10] Shunli Zhang, Eric Forsberg. Optimization of electrodynamic separation for metals recovery from electronic scrap[J]. Resources, Conservation and Recycling, 1998, 22: 143~162
- [11] Ching-Hwa Lee, Su-Li Chang, King-Min Wang, et al. Management of scrap computer recycling in Taiwan[J]. Journal of Hazardous Materials, 2000, A73: 209~220
- [12] T Matsutoa, C H Junga, N Tanakaa. Material and heavy metal balance in a recycling facility for home electrical appliances[J]. Waste Management. 2004, 24: 425~436
- [13] Huiting Shen, R J Pugh, E Forsberg. A review of plastics waste recycling and the flotation of plastics[J]. Resources, Conservation and Recycling, 1999, 25: 85~109
- [14] 罗宏昌, 毕载俊, 伍学正. 静电实用技术手册[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 1990
- [15] Higashiyama Y, Ujiie Y, Asano K. Triboelectrication of plastic particles on a vibrating feeder laminated with a plastic film[J]. Journal of Electrostatics, 1997, 42: 63~68
- [16] Komatsu T S, Hashimoto M, Miura T, et al. Static electrification by asymmetric rubbing[J]. Applied Surface Science, 2004, 235: 60~64
- [17] Kazuhiko Kondo. Business for old electrical appliances commences[J]. NKK Technical Review, 2001, 85: 51~53
- [18] 李瑞. 选矿技术在环境保护和资源回收领域的应用[J]. 有色金属, 1997, 49, (3): 100~109
- [19] 刘应宗. 固定资产投资建设经济学[M]. 天津: 天津人民出版社, 2001
- [20] 郭廷杰. 日本家电废塑料的再生利用及分选技术[J]. 再生资源研究, 2001, (2): 18~21
- [21] 虞莲莲. 实用有色金属材料手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002
- [22] 金国珍. 工程塑料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001

Mechanical Comminution and Separation Techniques for Waste Household Appliances

Yan Li^{1,2}, Liu Yingzong¹, Huang Wenxiong³

(1. School of Management, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Department of Civil Engineering, Anyang Institute of Technology, Anyang, Henan 455000, China;

3. Sino-overseas Construction Information Co., Ltd., Beijing 100037, China)

[Abstract] The recycling of waste household appliances (WHA) has aroused wide concern in China. Based on a brief introduction to the material composition, attachment and inclusion regimes, and a review on the technique progress in developed countries, the mechanical processing technique and equipment for WHA were demonstrated in detail. The principle of technique selecting and the route of WHA recycling and processing in China were also suggested in this essay.

[Key words] waste household appliances; comminution; separation; circular economy