

# “双碳”背景下电子废弃物全生命周期评价与管理对策

叶雯琪<sup>1</sup>, 晏海鸥<sup>2</sup>, 叶霆<sup>2</sup>

(1. 南昌大学 公共政策与管理学院, 江西 南昌 330010;

2. 中电凯杰科技有限公司, 湖南 长沙 410199)

**摘要:** 日益增长的电子废弃物具有高污染性和高附加值的双重属性, 在“双碳”背景下高效回收利用电子废弃物成为我国必须面临的环境管理问题。从电子废弃物的基本特征分析入手, 对回收、运输、储存和再生利用环节当前面临的现状与困境进行了剖析。并围绕“碳中和、碳达峰”的目标, 提出通过发展基于大数据的全生命周期管理体系强化监督, 加强回收体系建设构筑社会化回收网络, 发展绿色低碳技术提高资源化综合利用率, 通过技术的有效融合, 推进电子废弃物资源循环产业化, 建立健全绿色低碳循环发展经济体系。

**关键词:** 电子废弃物; 回收利用; 碳达峰、碳中和; 全生命周期管理; 循环经济

**中图分类号:** X705; C93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-0912(2022)11-0019-04

近年来电子信息技术不断变革, 深刻地改变了人类社会的生产、生活方式, 大量手机、电脑等电子消费品已成为日常生活和工作的必备工具。但是, 由于新兴市场消费观念的变化和电子消费品的不断更新换代, 电子产品更换周期持续下降, 导致电子废弃物的产生速度显著增长。而且, 电子废弃物含有大量的贵金属、重金属, 具有分布广、成分复杂等特征。如果不对电子废弃物的回收利用进行高效管理, 不仅浪费资源, 并且会对环境造成严重影响。同时, 为推动构建人类命运共同体, 2020年我国提出的“碳达峰、碳中和”重大战略将对经济社会产生深刻的系统性变革。因此, 在“双碳”背景下, 如何高效回收利用日益增长的大量电子废弃物也成为我国必须面临的环境管理问题。

## 1 电子废弃物的基本特征

### 1.1 电子废弃物的来源广

电子废弃物来源广泛, 主要包括个人淘汰的日常生活电子产品、企事业单位和政府部门报废的电子办公产品以及电子产品生产过程中产生的废品。电子废弃物的种类繁多, 如电视、空调、冰箱、计算机及其配件(显示器、中央处理器、鼠标和键盘)、手机、电池等。目前, 最大的电子垃圾来源为家用电器(42%), 其次是信息和通信技术(34%)、消费电子产品(14%)和其他(10%)。同时, 这些产品的寿命/更换间隔随着技术演进持续下降, 导致其增长速度远快于任何其他形式的城市垃圾, 目前仍以每年3%~5%的速度在增长。

### 1.2 电子废弃物的危害大

由于废旧电子产品的组件材料中存在多种有毒化学品, 如电路中的重金属成分、显示器的荧光粉涂层、有卤化阻燃剂的塑料等, 属于危险废弃物。如果含有这些有害物质的电子废弃物没有得到妥善处置, 会进入空气、土壤和水体, 影响我国的生态和社会发展<sup>[1]</sup>。此外, 工人在破碎/拆除电子废弃物期间容易遭受身体伤害, 如采用浓酸从微处理器中回收黄金的过程会导致诸多的健康问题。由于手机和电脑等个人电子产品不断更新换代, 电子废弃物的有毒组分会越来越复杂。

### 1.3 电子废弃物的价值高

电子废弃物包含大量有价值组分, 如贵金属、铜、塑料和玻璃等, 可以通过系统地回收和再加工使这些废弃物变成高附加值的原材料资源。尽管电子废弃物的确切化学成分随其类型、年代、来源和制造商的不同而发生显著变化, 但电子垃圾中典型的贵金属含量远高于矿石的平均品位<sup>[2]</sup>。例如, 100万部手机会产生24 kg黄金、250 kg银、9 kg钯和9 000 kg铜, 回收1 t这类电子垃圾可产生500美元以上的效益, 而且可以有效降低天然矿石资源日益枯竭导致的资源保障风险。此外, 由于金属原材料的价格上涨, 国际贸易形势的日益严峻, 电子废弃物回收已成为我国众多金属资源加工厂商的必然选择<sup>[3]</sup>。

### 1.4 电子废弃物的管理难

由于废弃的电子办公用品主要来自政府部门或企事业单位, 来源相对集中, 种类比较简单, 其回收途径

作者简介: 叶雯琪(1967-), 女, 湖南株洲人, 硕士, 副教授, 研究方向: 信息管理。

通常容易通过政策引导和管理。同时,电子产品生产过程中的不合格产品和废料来源集中,易于管理。但是,居民在日常生活中所产生的电子废弃物体量无疑是最大的,我国电视机、洗衣机、电冰箱、空调的社会保有量超 20 亿台,每年的理论报废量超过 1 亿台、重量达数百万吨,而且我国超过 10 亿的网民总体规模所承载的电脑、手机的替换速度远远快于其他电器,这些电子废弃物来源极其分散,回收途径复杂,管理最为困难。

## 2 电子废弃物回收利用现状与困境

### 2.1 回收环节

电子废弃物种类丰富、分布广泛,为其高效回收带来极大挑战。虽然城市中形成了大量的电子垃圾回收网络,但通常以流动商贩上门回收和居民区固定回收点组成,缺乏集中统一管理,导致回收的废旧产品大部分流向二手市场或小型回收厂。根据制造商信息技术协会(MAIT-GTZ)的报告,只有少量(5%)的电子垃圾到达正规回收商,而其余(95%)则由非正规部门处理<sup>[4]</sup>。非正规回收网络是一个复杂的渠道,它们在社区层面具有高渗透能力,它们为消费者提供比正规部门更令人信服的电子垃圾收集服务<sup>[5]</sup>。此外,由于金属价格上涨,电子废弃物的回收处理已转变为许多未经授权厂家的生计选择。这些非正规的回收利用渠道,为电子废弃物的规范化管理带来极大的挑战<sup>[6]</sup>。尽管我国正大力规范电子产品报废和回收利用的相关法规,但是形成规范化的电子垃圾回收网络还有很长的路要走。

### 2.2 运输与储存环节

从源头收集电子废弃物后,大多被转移到家庭作坊进行分类、人工拆解/非正式回收,可重复使用或附加值高的材料被转售,而无法使用的残留材料通常会被丢弃在开放的土地上,这会严重恶化环境。同时,危险废弃物的运输风险具有低概率和高后果的特征。为了降低危险废弃物运输过程引起的事故频率和强度,国内外均试图将危险废弃物的运输与正常交通分开,甚至严格禁止跨省运输。我国也规定企事业单位不能随意丢弃报废的电子产品,只能由各单位暂时贮存,并通过正规的部门进行回收。尽管监管机构有相应的法律法规对电子废弃物的运输和储存进行管控,但巨大的利益驱使总是带来极大的不确定性<sup>[7]</sup>。

### 2.3 再生利用环节

与从矿石中开采金属相比,从电子废弃物回收金属具有更高的经济效益。电子废弃物处理工艺多种多

样,尤其大量火法冶金和湿法冶金工艺的开发,可以减少以繁杂流程从天然矿物提取金属的大量能源消耗,对温室气体减排具有重要意义。目前,我国电子废弃物再生利用主要有三类,一是回收处理电子电器生产厂商的废品和废料的工厂,二是面向电子废弃物集中回收网络的大型处理厂,三是比较普遍的家庭作坊式回收处理模式。虽然前两类处理厂具有规模化效应,技术成熟度高,易于管理,但我国目前授权的处理厂数量仍十分有限。尤其是在利益驱使下,大量电子废弃物仍局限于第三类处理模式,它们一般规模小,多为手工制作,设备简陋,技术水平低,贵金属回收效率低,资源浪费严重,回收利用过程中产生严重的环境污染问题<sup>[8]</sup>。例如,电子废弃物中的塑料组分越来越成为制定垃圾管理策略的重要考虑因素,如丙烯腈-丁二烯-苯乙烯(ABS)、高抗冲聚苯乙烯(HIP)、聚碳酸酯(PC)和聚丙烯(PP)等均应单独回收,但在家庭作坊式回收处理过程中,主要靠焚烧的办法进行处理,产生二恶英等致癌污染物,造成极大的环境污染,对我国实现“双碳”目标也带来极大的挑战。而且,电子废弃物中组分多样,全组分回收利用极其耗能,技术也难以实现。因此,为了解决主要金属资源的稀缺问题,并尽量减少对环境的影响,有必要引入更多适应“双碳”背景的创新技术,并通过全生命周期管理办法充分评估回收过程的经济性和环保影响,从而实现电子废弃物的经济高效处理。

## 3 “双碳”背景下电子废弃物无害化处置对策

在“碳达峰”与“碳中和”背景下,我国生态文明建设将不断深入推进,社会对环境的保护要求不断提高,电子废弃物的综合利用作为我国构建绿色低碳循环经济体系的重要组成部分,既可促进资源的利用效率,更为实现“碳达峰、碳中和”提供重要支撑。因此,为促进电子废弃物回收产业的绿色高质量发展,需要全流程管理体制的不断完善,创新技术不断取得突破,政策制度和管理机制将不断完善。

### 3.1 发展全生命周期管理体系,强化监督管理

由于电子废弃物具有资源属性和高污染性,在电子废弃物的回收管理中,如果未充分考虑电子废弃物的回收、处置环节,会带来严重的环境污染和资源浪费。因此,兼顾电子废弃物回收和处置过程的经济、环境、社会效益十分必要。生命周期评价通过汇总产品在整个生命周期的投入及产出对环境已造成的和潜在的影响,可对产品“从摇篮到坟墓”全过程中涉及的环境

问题进行定性或定量分析或评价<sup>[9]</sup>。在电子废弃物回收过程中引入生命周期管理体系,可以有效地辅助污染特性识别、回收模式开发、处置技术改进、政策制定,以及监控各环节的能耗、排放及污染等指标,为政府和企业对电子废弃物的回收、利用、资源化处置的可持续管理提供大数据支撑<sup>[10]</sup>。在此基础上完善相关法律法规,建立适合国情的回收体系,强化电子设备生产厂家及其售后服务机构对废旧产品的回收义务和责任,协调在电子废弃物处置过程中各个部门之间的关系,通过集中的资源优势建立规模化的处置工厂,从而提高管理效率,实现经济效益和环境效益双赢。

### 3.2 加强回收体系建设 构筑社会化回收网络

我国经济仍处于高速发展的阶段,但全国各地经济水平的差异导致短期内集中改变我国电子废弃物回收现状比较困难。当前,城市中存在大量以电子垃圾回收利用工作为谋生职业的劳动者,政府部门需要结合当前的信息网络,将这些极度分散的回收点进行高效组织,并通过市场化机制进行引导,实现电子废弃物的源头分类和高效集中。同时,电子废弃物从垃圾到资源的社会共识与发达国家相比还有较大的距离,还需要通过经济激励等措施来进行强化。

因此,加强我国现有回收体系的建设,首先应从大型企事业单位和电子设备生产企业入手,这部分电子废弃物来源集中、容易回收,且较易管理。实际上,我国目前大型的处置工厂也主要针对这部分电子废弃物,而居民生活中产生的电子废弃物短时间内很难改变其回收方式,在没有合适经济利益驱使下,许多报废产品仍广泛分散在消费者手中,尤其是附加值高的手机等小型设备。因此,应积极在经济较发达的城市进行试点,加强日常生活电子垃圾的回收网络建设,并应强化对废弃物处置小作坊和二手市场的管理,从当前以个体上门回收的方式,逐步过渡到以经销商为中心的回收服务网络和以生产商为中心的处置再利用平台<sup>[11,12]</sup>。在此基础上,利用迅猛发展的互联网技术,构建线上、线下相互融合的电子废弃物回收网络,实现全民主动参与的正规化回收和处置网络体系,引导生产企业、回收企业、电商平台共享信息,促进电子废弃物流入规范化的拆解企业<sup>[13,14]</sup>。同时,根据全生命周期评价开展电子设备生产者的责任延伸试点,支持生产企业通过自主或委托等方式参与到报废产品的回收处置过程中,引导企业主动设计符合“双碳”目标的下一代电子设备开发。

### 3.3 发展绿色低碳处置技术 提高资源化综合利用率

目前,我国的电子废弃物处置技术水平与发达国家相比仍有较大距离,很多流入小作坊的电子废弃物仅有少量高附加值组分被回收利用,大部分难以处理的低值有毒化学组分被丢弃,容易造成严重的污染环境事件。危废资源化是近年来新兴的技术路线,通过提取废弃物中的金属资源进行再利用,或对有机溶剂和油脂进行回收,得到可以直接或间接利用的产品,提高固体废弃物的资源利用效率。由于电子废弃物具有高附加值与高危害性的双重特征,成熟的处置技术应当是无害化和资源化有机结合。国外已在此领域做了大量研究,我国也非常重视电子废弃物的无害化处置技术开发,国家“十三五”和“十四五”国家科技创新规划均明确了固废利用的发展方向<sup>[8,15]</sup>。

目前,通过大规模火法冶金过程分离金属与非金属,下游结合湿法冶金进一步分离有价金属,已被证明在严格控制条件下仍具有经济可行性<sup>[16]</sup>。以我国行业领先的格林美集团的技术路线为例,前端采用熔融技术或低温真空热解等高温工艺解决焚烧过程污染物排放、低值组分分离等问题,单体规模大,规模效应显著;后端资源化工厂开展多金属深度分离,并结合新兴市场生产相关的高附加值产品,极大地提高了电子废弃物资源利用的效益。由于危废跨省流动的限制,全国各地出现了大量以“无害化、减量化、资源化”为宗旨的企业,推动电子废弃物的回收、运输、储存、拆解与资源化综合利用。在我国推进“碳中和”的背景下,深度资源化在市场化竞争和技术壁垒日趋激烈的行业竞争中可提升金属的再生利用效率,提纯的金属材料可帮助企业节能减排、节省成本,与“碳中和”发展思路高度协同<sup>[17]</sup>。同时,伴随我国禁运洋垃圾,电子废弃物势必成为重要资源进入到再利用循环体系,成为对资源供给的重要补充途径。但是,完全基于湿法冶金原理的小规模工艺是否可以实现相同的经济和环境可行性仍不清楚,这方面的研究需要将流程设计与全生命周期评价管理工具相结合。

### 3.4 促进技术融合 推进电子废弃物资源循环产业化

我国电子废弃物资源化已经有一定的行业基础,但技术水平较低。一方面,这是由于目前全机械拆解技术不成熟,而手工拆解成本低,比较符合我国劳动力丰富的特点,但存在极大的安全风险,难以实现规模化效应。另一方面,我国在该领域的技术集成和融合度还不是很高,没有形成规模化和产业化效应。因此,政府应利用有效的市场调节机制,对产业进行规范、监督和引导,并借鉴国外先进的行业经验,结合我国国情和

“双碳”发展需要,不断完善电子废弃物综合利用的各项政策扶持<sup>[18]</sup>。例如,利用税费减免、投资融资、货币补贴等政策推动电子废弃物资源化技术的融合,推进产业的快速发展<sup>[19]</sup>。同时,通过建立规范化的集中加工处置区,提高创新技术的集成度,促进电子废弃物的循环利用。

在“十四五”期间,我国将构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局,内需潜力将极大地释放,居民消费水平和消费层次将进一步显著提升,国内将形成超大规模的市场主体,因而对资源、能源的需求仍将刚性增长。同时,我国部分资源的对外依存度高,供需矛盾极为突出,资源利用效率总体上仍然不高,消耗型生产方式难以根本性扭转,导致我国资源安全面临较大压力<sup>[20]</sup>。因此,通过科学管理,强化科技创新和技术融合,鼓励新技术、新工艺、新设备的推广应用,全面提高资源利用效率,提升电子废弃物资源的循环利用水平,建立健全绿色低碳循环发展经济体系,将有力地促进“双碳”目标的完成。

#### 4 结论与建议

电子废弃物具有环境潜在危害性和资源化性双重特点,虽然我国电子废弃物回收利用网络已经具备一定规模,但缺乏系统性的管理。在“双碳”背景下,为了改进我国的电子废弃物管理战略,需要结合全生命周期评价等手段制定严格系统的法规,将生产者的责任延伸到电子废弃物回收处理阶段。并结合大数据网络,构建易于多方共享的电子废弃物回收管理系统,为所有利益相关者带来最大利益,尤其是最大限度地减少对生态环境的不利影响。同时,应当加大投入开发高效的资源化工艺,强化科技创新和技术融合,提升电子废弃物资源的循环利用水平,加快我国电子废弃物

资源化的产业化步伐。

#### 参考文献

- [1] 宋闯,袁野.电子废弃物的环境污染及回收利用概述[J].环境保护与循环经济,2015(3):26-28,38.
- [2] 李国.电子废弃物:一座尚待开采的“金矿”[J].决策探索,2020(17):40-41.
- [3] 杨进军,陈依纯,李德生,等.电子废弃物回收管理及经济效益评估[J].商场现代化,2015(25):242-244.
- [4] First M- G.Study Reveals Extent of E- waste Challenge [R]. Press Release,2019.
- [5] 谢天帅.电子废弃物非正规回收查处政策及其效果[J].系统管理学报,2017,26(4):722-727.
- [6] 余福茂,王希鹏.电子废弃物非正规回收渠道监管策略的演化博弈研究[J].生产力研究,2016(9):74-77.
- [7] 窦荣鹏.我国电子废弃物回收现状及优化策略[J].中国资源综合利用,2019,37(8):52-54.
- [8] 林成森,朱坦,高帅,等.国内外电子废弃物回收体系比较与借鉴[J].未来与发展,2015(4):14-20.
- [9] 洪梅,宋博宇,丁琼,等.生命周期评价在电子废弃物管理中的应用前景[J].科技导报,2012,30(33):62-67.
- [10] 魏翔宇.信息化时代背景下电子废弃物回收利用体系的构建[J].管理观察,2018,38(10):107-108.
- [11] 金伟,韩春宇,周三元.我国电子废弃物回收现状及创新模式[J].商业经济研究,2018(23):181-184.
- [12] 田昀翊.基于政府激励的电子废弃物回收模式研究[J].经贸实践,2017(16):167.
- [13] 姜寒笑,高云燕,陈一帆,等.电子废弃物在线回收行业研究[J].知识经济,2021(5):34-35.
- [14] 陈少晗,王英.“互联网+”思维下的电子废弃物绿色回收研究[J].现代经济信息,2018(30):347.
- [15] 潘永刚.《“十四五”循环经济发展规划》解读——加快废旧物资循环利用体系建设构建循环经济发展新格局[J].再生资源与循环经济,2021,14(7):23-44.
- [16] 孙卫红,刘波,高孔军.电子废弃物的处置回收[J].能源研究与管理,2016(1):66-70.
- [17] 王敏晰,游孝岭,李新.电子废弃物中金属资源循环利用效率研究[J].国土资源科技管理,2018,35(2):26-39.
- [18] 彭本红,屠羽.社会资本嵌入视角的电子废弃物回收治理研究[J].管理工程学报,2020,34(2):116-123.
- [19] 胡彪,张晋辉.政府补贴模式对电子废弃物回收再制造的影响研究[J].价值工程,2020,39(8):97-100.
- [20] 叶智毅.关于电子废弃物循环再利用的分析与探究[J].中国资源综合利用,2019,37(7):63-65.

## Life cycle management and harmless disposal strategies of e-wastes for carbon peak and neutrality

YE Wenqi<sup>1</sup>, YAN Haiou<sup>2</sup>, YE Ting<sup>2</sup>

(1. School of Public Policy and Management, Nanchang University, Nanchang 330010, China;

2. CLP Kaijie Technology Co., LTD., Changsha 410199, China)

**Abstract:** The increasing e-wastes have the dual properties of high pollution and high added value. Under the background of "carbon peak and neutrality", the efficient recycling and utilization of e-wastes has become an environmental management problem of China. In this study, based on the analysis of the basic characteristics of e-wastes, the current management status and difficulties of recycling, transportation, storage and recycling were analyzed. The corresponding management strategies were proposed, including the development of life cycle assessment system to strengthen supervision, the construction of socially recycling network, developing green low-carbon technologies to improve resource comprehensive utilization, and the industrialization of e-waste resources circulation through the effective combination of technologies. These management strategies will help for establishing a green and low-carbon social system.

**Keywords:** e-waste; recycling and utilization; carbon peak and neutrality; whole life cycle management; circular economy (收稿日期 2022-07-25)