

# 废旧家电回收再利用研究

王继荣 著

中国海洋大学出版社  
· 青岛 ·

# 前 言

随着资源短缺和环境恶化等问题的日益凸显,可持续发展和循环经济已成为当今世界的主题。随着科技的进步和人民生活水平的提高以及消费者对产品多样化和个性化需求的不断提高,家电产品更新换代的速度越来越快,但是我国的废旧家电的回收尚处在概念和定性讨论阶段,缺乏系统的回收理论与方法来规划、指导回收过程,致使回收一直徘徊在低水平、低效率、低效益的状态。因此,建立一套行之有效的废旧家电回收再利用体系已成为我国当前的一个十分紧迫的任务。

基于上述背景,本书结合青岛市“废旧家电回收再利用系统及拆解规划”课题,在参考国内外有关废旧家电回收研究文献和实践的基础上,综合运用多种理论和方法,基于环境保护的废旧家电回收处理系统构建,对废旧家电回收再处理影响因素及模式选择进行探讨,并应用先进的人工智能多智能体系统理论对废旧家电回收再利用调度系统框架和制造/再制造混合生产计划的库存系统进行研究。

本书分为十章。

第一章介绍了研究背景、研究意义,国内外废旧家电回收研究现状,废旧家电回收再利用的关键技术。

第二章详细地介绍了废旧家电逆向物流系统与循环经济、产品生命周期、环境与自然资源经济学理论和逆向物流理论的关系。对废旧家电的回收再利用是循环经济在家用电子电器产业的实际应用,它以循环经济理论为基础,兼顾逆向物流理论和生态经济学的发展目标,本章的阐述使之上升到一个系统化、科学化的高度,并为后面部分奠定理论基础。

第三章讨论了废旧家电的回收再利用存在的问题,对废旧家电回收影响因素进行了详细分析。为了使废旧家电回收再利用运作高效,对废旧家电回收各个成员的管理提出了建议。讨论了回收再利用费用的分摊问题,提出了废旧家电回收再利用的押金返还机制和“孤儿产品”问题及解决建议。

第四章阐述了废旧家电回收逆向物流系统的特征,重点介绍了废旧家电回收再利用实施模式和组织模式,划分出企业的回收组织管理模式和再处理组织

管理模式,全面描述了系统的构成,包括回收目标、回收对象、回收技术、回收实体以及回收体系的支撑技术,并对废旧家电回收再利用流程作了简要分析。

第五章介绍了 Agent 和 MAS 的定义、分类和体系结构,阐述了 Agent 角色划分、Agent 协调机制、MAS 的系统框架等构建 MAS 的关键技术,详细分析了基于 MAS 的建模思想,给出基于 MAS 的建模与仿真过程。

第六章分析了废旧家电回收再利用调度系统作业流程,对废旧家电的回收再利用调度系统中 Agent 间的通信和传输机制等关键性问题进行了讨论,分析了废旧家电回收再利用调度系统中 Agent 的功能,提出了基于 MAS 的废旧家电回收再利用调度系统框架模型。最后,对废旧家电的回收再利用调度中工艺流程最复杂的再利用中心调度规划进行了研究。

第七章阐述了经典库存管理方法和现代库存管理方法,指出再制造库存系统适合采用基于 MAS 的建模方法,给出了基于 MAS 的企业制造/再制造库存系统模型基本假设,建立了基于 MAS 的库存系统采购部门 Agent、生产部门 Agent、销售部门 Agent 的库存策略。最后,用发动机再制造案例进行了仿真分析。

第八章阐述了 Swarm 的 MAS 建模思想与特点,以及 Swarm 仿真程序的体系结构,详细介绍了 Swarm 类库和 Swarm 仿真系统的基本功能与使用。

第九章阐述了废旧家电回收再利用库存系统的特点,给出了基于 MAS 的废旧家电回收再利用库存系统模型基本假设和废旧家电回收再利用库存系统运作过程,提出了基于 MAS 的废旧家电回收再利用库存系统中分销商 Agent、制造商 Agent、再利用中心 Agent、回收中心 Agent 和供应商 Agent 的库存策略,建立了基于 MAS 的废旧家电回收再利用库存系统成本分析函数。

第十章对青岛市在建设废旧家电管理体系方面的经验做法进行了归纳总结,讨论了存在的问题,给出了今后工作的建议。本章还建立了青岛某公司库存管理系统的 MAS 模型,给出了其废旧家电库存管理系统各 Agent 的库存策略,在 Swarm 2.1.1 软件平台上进行了仿真运行,并对仿真结果进行了讨论。

作者  
2009 年 4 月

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b>                 | 1  |
| 第一节 产生背景及研究意义                 | 1  |
| 第二节 国内外废旧家电回收再利用状况            | 8  |
| 第三节 国内外废旧家电回收再利用研究综述          | 15 |
| 第四节 废旧家电回收再利用关键技术             | 27 |
| 第五节 本书的主要内容及研究方法              | 28 |
| <b>第二章 废旧家电回收再利用相关理论基础</b>    | 30 |
| 第一节 环境与自然资源经济学理论              | 30 |
| 第二节 循环经济                      | 35 |
| 第三节 产品生命周期管理                  | 37 |
| 第四节 逆向物流                      | 40 |
| <b>第三章 废旧家电回收再利用对策研究</b>      | 46 |
| 第一节 废旧家电回收再利用存在的问题            | 46 |
| 第二节 废旧家电回收再利用影响因素分析           | 47 |
| 第三节 废旧家电回收再利用管理对策             | 50 |
| 第四节 废旧家电回收再利用费用及“孤儿产品”问题      | 58 |
| <b>第四章 废旧家电回收再利用系统构成与实施模式</b> | 62 |
| 第一节 废旧家电回收逆向物流系统的特征           | 62 |
| 第二节 废旧家电回收系统                  | 63 |
| 第三节 废旧家电回收再利用实施模式和组织模式        | 67 |
| 第四节 废旧家电回收再利用基本运作程序           | 73 |
| <b>第五章 Agent 与多 Agent 理论</b>  | 76 |
| 第一节 Agent 概述                  | 76 |
| 第二节 MAS 的定义和体系结构              | 80 |
| 第三节 构建 MAS 的关键技术              | 86 |
| 第四节 基于 MAS 的建模思想              | 89 |

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| 第五节 基于 MAS 的建模与仿真过程 .....                  | 92         |
| <b>第六章 基于 MAS 的废旧家电回收再利用调度系统框架研究 .....</b> | <b>99</b>  |
| 第一节 废旧家电回收再利用调度系统 .....                    | 99         |
| 第二节 废旧家电回收再利用调度系统的 MAS 框架 .....            | 100        |
| 第三节 废旧家电回收再利用调度系统中 Agent 间的通信 .....        | 103        |
| 第四节 基于 MAS 的再利用中心框架 .....                  | 108        |
| <b>第七章 基于 MAS 再制造物流系统的库存 .....</b>         | <b>111</b> |
| 第一节 库存管理概述 .....                           | 111        |
| 第二节 库存控制系统 .....                           | 116        |
| 第三节 基于 MAS 再制造物流系统的库存模型 .....              | 129        |
| 第四节 案例分析 .....                             | 135        |
| <b>第八章 Swarm 仿真平台 .....</b>                | <b>140</b> |
| 第一节 基于 Swarm 的 MAS 建模思想与特点 .....           | 140        |
| 第二节 Swarm 仿真程序的体系结构 .....                  | 146        |
| 第三节 Swarm 的类库 .....                        | 149        |
| 第四节 Swarm 仿真系统的基本功能与使用 .....               | 152        |
| <b>第九章 基于 MAS 的废旧家电回收再利用库存系统 .....</b>     | <b>156</b> |
| 第一节 基于 MAS 的废旧家电回收再利用库存系统模型 .....          | 156        |
| 第二节 废旧家电回收再利用库存系统数学模型 .....                | 158        |
| <b>第十章 废旧家电回收再利用案例分析 .....</b>             | <b>166</b> |
| 第一节 青岛市废旧家电回收再利用体系的建立 .....                | 166        |
| 第二节 存在的问题及提出的建议 .....                      | 169        |
| 第三节 青岛某公司废旧家电回收再利用库存系统建模与仿真 .....          | 171        |
| <b>参考文献 .....</b>                          | <b>177</b> |
| <b>后记 .....</b>                            | <b>186</b> |

# 第一章 绪 论

本章阐述废旧家电研究的产生背景及意义,介绍国内外废旧家电回收再利用现状,对废旧家电回收再利用、逆向物流的库存管理、逆向物流的信息技术及多智能体的应用四个方面的国内外研究现状进行综述。

## 第一节 产生背景及研究意义

### 一、产生背景

资源的回收和再生利用,几乎涉及生产、生活的所有领域,而废旧家电的回收再利用就是其中的一个很突出的方面。随着经济社会的快速发展和人民生活水平的不断提高,家用电器的种类越来越多,普及率也在逐年提高。家电企业为了迎合市场发展和竞争需求,不断地开发新型产品,以赢得更多的市场机会。家电企业的工作重点主要集中在产品的生产、销售和服务方面,而家电产品淘汰废弃后的处理处置则由社会来承担,其结果是一方面对资源、能源的需求量不断增大,另一方面,由于各类家用电器淘汰废弃速度的不断加快,形成了大量的家电废弃物垃圾,不仅造成了严重的社会负担,浪费了资源和能源,而且对环境造成了严重的影响,使人们的生活质量下降。

自 20 世纪 90 年代初开始,大量的家电走进我国寻常百姓家。如果按照家电的正常使用寿命 10~15 年计算,不少家用电器已经到了淘汰期限。而且,随着人们生活水平的提高,家电的更换周期越来越短。据国家统计局相关调查资料粗略估计,我国平均每年需报废的电视机约 500 万台,洗衣机约 500 万台,电冰箱约 400 万台。<sup>[1]</sup>同时,一些发达国家将电子电器废弃物转移到亚洲,并试图将我国作为其电子电器垃圾集散地。我国电子垃圾污染可谓是内忧外患。但是到目前为止,我国尚未建立起一套完整的废旧家电回收再利用系统。废旧家电产品任意处置的现象较为普遍,由此产生的安全隐患、能源浪费及环境污染问题越来越严重。

我国已经意识到了这个问题的严重性,我国政府高度重视可持续发展和推

进循环经济,已将发展循环经济纳入“十一五”规划,国家有关部门也已着手研究建立家电回收处理体系。国家发改委 2004 年 1 月 1 日宣布,我国废旧家电及电子产品回收处理将推行生产者责任制,并确定浙江省、青岛市为国家废旧家电及电子产品回收处理体系建设试点省市。国务院总理温家宝在十届全国人大四次会议上强调:要大力发展循环经济。在重点行业、产业园区、城市和农村实施一批循环经济试点。完善资源综合利用和再生资源回收的税收优惠政策,推进废物综合利用和废旧资源回收利用。要全面加强管理,把节能降耗纳入经济社会发展的统计、评价考核体系,建立信息发布制度。从 2006 年开始,每年都要公布各地区和主要行业的单位产值能源消耗情况,要在全社会广泛持久地开展节约活动,使建设资源节约型社会深入人心,蔚成风气<sup>[2]</sup>。我国政府对废旧家电回收再利用的高度重视为做好废旧家电回收再利用工作提供了强有力的支持和保障。

## 二、研究意义

### (一)废旧家电对环境的危害

废旧家电含有大量有毒、有害和危险物质,主要包括铅、镉、汞、六价铬、铝、溴化阻燃剂、氟利昂、聚氯乙烯塑料等。废旧家电中几种主要有害物质及其危害如表 1-1 所示。除此之外,家用电器还富含其他重金属和卤素化学物质,如锌、银、钴、镍等。废旧家电如果随意丢弃或者处理不当,就会成为危害人类生存环境的“环境杀手”,污染土壤、水源、空气、动植物,并最终对人类的身体健健康,甚至生命安全造成严重危害。

表 1-1 废旧家电中几种主要有害物质及其危害

| 名称 | 用途/位置                                 | 主要的危害                                              |
|----|---------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 铅  | 金属接头,辐射屏蔽/阴极射线管,印刷电路板                 | 损伤中枢和周围神经系统、循环系统及肾脏;对内分泌系统有影响;严重影响大脑发育             |
| 镉  | 电池、SMD 电阻器 <sup>①</sup> 、半导体、染料或塑胶稳定剂 | 动脉硬化、肺部损伤、肾脏疾病,骨骼易碎裂,极有可能是一种人类致癌物质                 |
| 汞  | 电池,开关/罩盒,印刷电路板                        | 大脑、肾脏、肺及胎儿慢性损伤;血压升高,心率加快,过敏反应,影响大脑功能和记忆力;可能是人类致癌物质 |

① SMD 是 Surface Mounting Devices 的英文缩写,SMD 电阻器指表面贴片电阻器,简称表贴电阻。

(续表)

| 名称     | 用途/位置                    | 主要的危害                                                      |
|--------|--------------------------|------------------------------------------------------------|
| 铬(六价铬) | 装饰部件,硬化剂/(钢铁)罩盒          | 溃疡、痉挛,肝及肾损伤;强烈的过敏反应,哮喘性支气管炎,可能会引起DNA损坏;一种已知的人类致癌物质         |
| 铝      | 结构件,导体/罩盒,阴极射线管,印刷电路板,接头 | 皮疹,骨骼疾病,呼吸道疾病,包括哮喘;与Alzheimer氏疾病(老年痴呆症)有关                  |
| 溴化阻燃剂  | 机壳塑料、电路板                 | 其中多溴化二苯醚(PBDE)——干扰内分泌并影响胎儿发育;多溴化二苯基(PBBs)——增加消化和淋巴系统患癌症的风险 |
| 氟利昂    | 制冷剂 CFC-2、发泡剂 CFC-11     | 破坏臭氧层                                                      |

如制造家用电脑需要用 700 多种化学原料,其中 50% 对人体有害。铅在显示管、显像管的阴极射线管里和印刷电路板上使用。显示管平均约含 1 kg 铅,显像管平均含有 2 kg 铅;印刷电路板上的焊料为铅锡合金;镉在半导体、SMD 电阻器、电池和电路板中使用;汞在开关、磁盘驱动器和位置传感器中使用;铬在铁质机箱、磁盘驱动器中使用;溴化阻燃剂在电路板中使用;镍、锂、镉和其他金属在电池中使用;聚氯乙烯在电线和包装套中使用;阴极射线管还属于易爆炸性的废弃物。这些废旧家用电脑垃圾处置不当将严重影响人类健康,严重破坏人类生存环境。如果不做任何处理简单掩埋于土壤之中,其零件中的铅、镉、汞、聚氯乙烯等有毒物质就会释出,对土壤造成严重污染;如果对这些废旧家用电脑垃圾进行焚烧,则会释放大量毒性极强的有害气体,对空气造成污染<sup>[3]</sup>。

## (二) 废旧家电的回收再利用价值

家用电器废弃物具有两重性,既有污染环境、造成危害的潜在危险性,又有可回收再利用的再生资源性。世界上没有绝对的垃圾,只有放错地方的资源。虽然家用电器废弃物危害严重,但废旧家电全身都是宝,是一种待开采的新型资源——可再生利用资源。随着自然资源的日益短缺和环境压力的逐渐增大,废旧家电等电子电器垃圾将成为未来的主要“矿产资源”。

家用电器因功能和设计的需要,在制造过程中采用了种类多、数量大的各类材料,含有多种有色金属、黑色金属、塑料、橡胶、玻璃等可供回收再利用的有用资源。以计算机为例,其成分如下:钢铁约占 54%、铜铝 20%、塑料 17%、线路板约 8% 及其他 1%。随着电子工业和经济的发展以及电子产品更新换代速度的加快,贵金属的消耗量越来越大。据文献报道,在美国和西欧,电子工业中

仅金的消耗量 1968 年达到 82 吨,1973 年达到 127 吨,1983 年达到 189 吨。同时,废旧家电中还含有相当数量的银、铜、锡、铬、铂、钯等其他贵金属,每吨随意收集的电子线路板中可以分离出 129.7296 kg 铜、0.4536 kg 黄金、19.9584 kg 锡。美国环保局确认,用从废家电中回收的废钢材代替通过采矿、运输、冶炼得到的新钢材,可减少 97% 的矿废物,减少 86% 的空气污染、76% 的水污染;减少 40% 的用水量,节约 90% 的原材料、74% 的能源,而且废钢材与新钢材的性能基本相同。据报道,1995 年美国有 75% 的大型家电进行了回收再利用,由此提供了 10% 的再生钢铁。由此可见,废旧家电的回收再利用既能够减轻环境污染,又能够从中“开采”大量的再生资源,同时还能够降低能源消耗和不可再生资源消耗。

### (三)废旧家电回收再利用对生态环境的重要性

自然资源是人类赖以生存和发展的重要物质基础,有限性是自然资源最本质的特征,任何资源在数量上都是有限的,尤其是那些不可再生资源。不可再生资源由于数量有限,且其形成往往以百万年计,它们的数量将随着人们的消耗而逐渐减少,如果按照现在的消耗量计算,这些资源将在不久的将来消耗殆尽。而废旧家电中含有大量可回收再利用的有色金属、黑色金属、玻璃、塑料等物质。

环境及其子系统都有一定的纳污、自净能力,具有一定的环境容量,人类及生物排入环境的污染物质可以在环境中降解、消除而变为无害物质,重新纳入新的物质循环。但环境容量都有一定的极限,即环境承载能力有限,超过了这个限制,就表现出环境质量的下降,长此以往,生态环境将呈现不可持续发展之势。

在家电生产和消费的早期阶段,由于废旧家电的产生量较小,并且环境都有一定的容量,废旧家电直接进入环境造成的危害也较小。但是随着生产和消费量的不断增加,废旧家电大量产生,如果没有有效的逆向物流系统对其进行回收和处理,那么废旧家电将直接进入环境中。由于环境容量有限,并不能对废旧家电中的各种有毒有害物质进行降解,这些有毒有害物质就会给环境造成很大的危害。可见,对废旧家电进行有效回收再利用能保护环境免遭污染,对环境的可持续发展是十分重要的。

对废旧家电实施回收再利用,可以回收再利用废旧家电中的许多有用物质,使得自然资源的利用率大幅提高。由于我国是一个人均自然资源并不丰富的国家,再加上经济技术水平还比较落后,单位产品的自然资源消耗量比发达国家高出许多。在这种人均资源相对不足、消耗相对较高的状况下,我国现行

的废旧家电处理所采用的落后处理方式,一方面使得大量宝贵资源没有得到充分回收再利用;另一方面,有毒有害物质也没有得到及时有效处理,造成了严重的环境污染。现行的废旧家电处理方式是不符合我国的可持续发展战略目标的,我们必须考虑从可持续发展的角度对废旧家电进行处理。而建立有效的废旧家电回收再利用系统是处理废旧家电的有效方法,既能对废旧家电中的资源进行有效回收,又能减少废旧家电对环境造成危害。

#### (四)废旧家电回收再利用对家电制造企业可持续发展的重要性

企业的发展必须有原材料作为保障,家电的生产需耗用多种原材料,而有些是不可再生的,如果不进行有效回收,按此速率耗用原材料,终将被耗竭,那么企业的可持续发展就成了空谈。因此,只有对废旧家电实施回收再利用,才能使家电制造企业的可持续发展成为可能。并且随着有关环境法律法规的出台,企业如果不对废旧家电实施回收再利用将直接面临政府的管制,对企业的可持续发展将造成重大的影响。此外,随着消费者环境意识的日益增强,人们开始关注环境问题,越来越多的消费者更倾向于“绿色产品”的消费。在这种消费趋势的影响下,家电制造企业为了赢得市场,追求经济效益,就必须积极采取环保措施,对废旧家电实施回收再利用,只有这样做才能保持乃至增加市场份额,增强企业在现代社会环境中的竞争力,实现企业的可持续发展。

#### (五)废旧家电回收再利用对国际贸易的重要性

随着各国对环境的日益重视,一些国家把环境因素作为贸易保护的一种武器,以环境保护法规和标准为依据,设置贸易壁垒,用来影响其他国家的政策,保护本国的利益。这种非关税的贸易保护策略被称为“绿色贸易壁垒”。现在许多国家相继出台法律法规要求对废旧家电实施逆向物流,对于未实施逆向物流的家电产品,加收逆向物流费用。例如,欧盟规定进口家电产品必须实施逆向物流,否则征收2%的逆向物流费用,这对于利润本来就不高,1/4的产品均出口该地区的中国家电产业来说,无疑是一个致命的打击。如果不采取有效措施对我国出口到欧盟地区的家电实施回收逆向物流,我国家电国际贸易的可持续发展将受到严重影响。

#### (六)废旧家电回收再利用对效率和公平的重要性

可持续发展研究的两个突出问题是效率和公平,而废旧家电回收再利用的实施能促进这两个问题的解决。废旧家电回收再利用的实施使得废旧家电中的许多资源能够被再度利用,这样资源的利用效率就提高了,因此,废旧家电回收再利用能促进效率问题的解决。

废旧家电回收再利用的实施还能促进公平问题的解决。可持续发展的公

平问题分为代内公平和代际公平。

首先,废旧家电回收再利用能促进代内公平的实现。代内公平包括国家范围内不同利益集团之间的公平和国家之间的公平。在一个国家内,特别是在少数发达国家,财富的占有和分配是极不公平的。一般而言,低收入家庭和高收入家庭同样消费一元的话,两者所产生的污染是相同的,但是现实中,富有者消费的家电产品通常远多于贫困者,所产生的废旧家电如果不加处理直接进入环境,造成的环境危害也就大,这对于贫困者来说是极不公平的,而对废旧家电实施回收再利用,让消费者家电产品多的富有者承担更多的环保责任,就能有效解决这个问题,因此,废旧家电回收再利用有利于国家范围内不同利益集团之间的公平。并且,通过实施废旧家电回收再利用,生产者有责任将出口到国外的产品收回,也就不致因为家电产品的出口而增加他国的环境污染。可见,废旧家电回收再利用的实施也有利于国家之间的公平。

其次,废旧家电回收再利用还能促进代际公平的实现。可持续发展不仅要实现当代人之间的公平,而且要实现当代人与未来各代人之间的公平。代际公平涉及稀缺资源在不同代人之间的合理配置问题,它要求当代人应考虑本代人与后代人之间在发展方面机会均等与平均分享资源,而不应该为了本代人的发展与需求而损害后代人的自然资源与生态环境。废旧家电回收再利用的实施既可以减少对自然资源的消耗,也有利于保护后代人的生存环境,因此,废旧家电回收再利用有利于代际公平的实现。

### 三、废旧家电的相关概念

#### (一)废旧家电

废旧家电包括废家电和旧家电。废家电指那些经过消费、损耗、损坏等过程,丧失使用功能或者在经济合理条件下经过维修仍达不到旧家电安全标准和性能标准的家电;旧家电指没有经过维修或经过经济合理条件下的维修后,经测试达到旧家电安全标准和性能标准的,可作为二手商品继续销售、使用的家电。

目前,我国消费者对废旧家电更多地认为废旧家电是旧的家电,不到完全不能使用消费者不会认为是废家电。随着人们生活水平的不断提高和科技的不断发展,家用电器的更新换代会越来越快,家电淘汰的原因也越来越由废家电向旧家电的方向转变。由于回收时很难判断是废家电还是旧家电,所以统称为废旧家电回收。

#### (二)家用电器的分类

按欧盟 WEEE,家用电器分为大型家用电器和小型家用电器。大型家用电

器指大型制冷器具,冰箱,冷冻箱,其他用于食品制冷、保鲜和储存的大型器具,洗衣机,干衣机,洗碗机,电饭锅,电炉灶,电热板,微波炉,其他用于食品烹饪和加工的大型器具,电加热器,电暖气,其他用于加热房间、床和坐椅的大型器具,电风扇,空调器具,其他吹风、换气通风和空调设备。

小型家用电器指真空吸尘器,地毯清扫机,其他清洁器具,用于缝纫、编织及其他织物加工的器具,熨斗和衣服熨烫、压平和其他衣物护理器具,烤面包机,电煎锅,研磨机,咖啡机和开启或密封容器或包装的设备,电刀、剪发、吹发、刷牙、剃须、按摩和其他身体护理器具,电钟、电子表和其他测量、显示或记录时间的设备,电子秤。

### (三)废旧家电的来源

废旧家电有两大主要来源,一是电器制造商,二是个人和小商家。电器制造商产生的废物主要是因为质量原因(残次品、报废品)而产生的。个人和小商家产生的废旧家电的特点是数量众多的个人和小商家产生出种类繁多、数量巨大的废旧电器。据欧盟的调查,废旧电器的60%来自家庭,家庭成为废旧电器的主要来源。

个人和小商家产生废旧家电一般有三个原因:一是耐久性淘汰,即因长期使用而丧失使用功能造成的淘汰,即通常所说的报废,这种情况产生废家电;二是功能性淘汰,是指功能更好的新产品取代原有产品,而造成使用中的产品被淘汰;三是时尚性淘汰,即消费者因消费品位变化而选择另一种新产品,造成原使用的产品被淘汰。后两种情况产生旧家电。

### (四)废旧家电的属性

废旧家电具有以下属性:

(1)分散性。废旧家电的来源分散、来源广泛,收集成本高、困难大,很难进行有效监控。

(2)重用性。部分废旧家电并未完全丧失功能,容易被修复或重新投入使用。

(3)数量积累的缓慢性。用户在购买家电产品一段时间后才会计入回收商,因此废旧家电的数量需要慢慢积累。

(4)回收价值恢复缓慢性。家电产品结构的日趋复杂和多元化增加了废旧家电拆解处理的难度,回收技术的先进性及回收成本的高低会影响废旧家电的回收价值恢复缓慢性。

(5)价值的非单调性。废旧家电价值的非单调性体现在逆向物流处理的不同阶段。一方面,在废旧家电的回收过程中,会产生一系列的运输、仓储和其他

处理作业,作业活动越多,处理成本也越高,这些作业成本将逐步抵消回收废旧家电的价值,使其价值逐步降低。另一方面,经过检测、拆卸、再制造等方式,使废旧家电重新获得其价值,又使其价值逐步增加。

## 第二节 国内外废旧家电回收再利用状况

### 一、国外废旧家电回收再利用状况

#### (一)美国废旧家电回收再利用状况

美国是世界上最大的电子产品生产国和消费国,同时也是电子垃圾的最大制造国。据美国国家安全委员会估计,1997~2004 年全美仅报废的电脑就达到 3 亿多台,而到 2005 年每 1 台新电脑投放市场的同时就有 1 台旧电脑加入电子垃圾的行列。

早在 20 世纪 90 年代初美国就对废旧家电的处理制定了一些强制性的条例。2000 年美国针对废旧家电的回收再利用又出台了一系列法规法令。作为电脑产品的生产和使用大国,美国也把电脑等电子产品归入家电产品类进行法律上的约束。美国政府还通过干预各级政府的购买行为,确保有再生成分的产品在政府采购中占据优先地位,以此推动包括废旧家电在内的电子电器废弃物的回收再利用。美国环保局目前正在考虑建立一个全国性的体系,试图通过经济手段来鼓励回收再利用废弃电子电器产品。

长期以来,填埋和焚烧因为成本低而成为包括废家电在内的许多固体废弃物的主要处理方式。收取填埋和焚烧税使这条最便宜的垃圾处理途径的成本上涨,从而大大增加了废旧家电回收再利用的吸引力。美国的一些州,如新泽西州和宾夕法尼亚州,通过征收填埋和焚烧税来促进有关企业回收再利用废弃物。马塞诸塞州则走得更远,制定了美国第一部禁止私人向填埋场或焚烧炉丢弃电脑显示器、电视机和其他电子产品的法律。

2002 年以来,美国政府专门针对废旧家电回收再利用的问题出台了一系列的法规法令,对从事回收家电产品中制冷剂的人员的资格、使用的设备以及回收比率等都作出明确的规定,使废旧家电的回收再利用过程能够达到政府所规定的各项要求和技术指标。美国电子工业协会(EIA)曾向公众宣布了一个关于废旧家电产品回收再利用的实验项目。按照计划,这个为期一年的项目于 2002 年 10 月份启动,其目标是提供相关信息,借以建立一个具有成本效益的长期运行系统。这项实验主要是检测美国各地的不同模式,并利用收集的相关信息制

定一个长期的废旧家电回收计划。支持这项计划的世界级生产厂商包括惠普、索尼、佳能、柯达、诺基亚、JVC 等著名公司。

2003 年 9 月加利福尼亚州通过了电子废弃物回收再利用法案,规定从 2004 年 7 月 1 日起顾客在购买新的电脑或电视机时,要交纳每件 6~10 美元的电子垃圾回收处理费。

美国已拥有一批技术成熟、管理完善的废旧家电回收再利用企业。电子垃圾拆解已经形成了很专业的分工,有专门负责拆解的公司,有专门负责电路板回收的公司,有专门提炼贵重金属的公司等。在专业的回收公司中废旧家电的回收再利用率达到 97% 以上。最后只有不到 3% 的东西被当做垃圾。不过,相对每年淘汰下来的数不胜数的废旧家电而言,美国目前的回收处理能力几乎是杯水车薪。结果每年都有大量的废旧电脑、手机、电视机、冰箱等被废弃,埋在地下成为环境的潜在威胁。目前,废旧显示器和电视显像管的含铅量已占美国垃圾填埋物总含铅量的 40%,每年还有 45 万吨塑料随电子垃圾被填埋或焚烧,而且绝大多数未做任何处理。此外,美国还有至少一半多的电子垃圾虽然以再循环的名义被回收,最后却通过难以追查到的二手经销商和零件经销商运出国境,流散到发展中国家。

迫于舆论的压力,美国国内一些电器生产厂商开始致力于回收其电子产品,一个包括佳能、惠普、柯达等 2000 多家电脑及电子产品生产商的组织曾于 2001 年 10 月开始在美国各地进行为期一年的回收试验计划,测试各电子产品在回收方面的成本与效益,以期推出长远的回收再利用计划。在个人电脑生产与销售处于世界领先地位的 IBM 公司,早在 15 年前就开始了回收再利用旧电脑的工作,但是,由于仅仅是面对大客户回收废旧电脑,所以影响力不是很大。不久前,戴尔电脑公司宣布,将重新修订原来只针对那些有 20 台以上废旧电脑的大客户进行电脑回收的规定,以应对随着电脑普及而产生的大量废旧电脑。戴尔电脑公司还同美国废品回收联合会合作,在大学和公共机构中推行废旧电脑回收计划,其目标是为了普及电脑回收。<sup>[4]</sup>

总之,在美国,废旧家电的回收再利用已经受到政府、生产厂商和消费者越来越多的重视。与此同时,设计既容易回收、又对环境损害较小的家电产品,已经成为一些知名公司的研究重点。据报道,施乐公司正在研究开发全球第一种可以回收、再生的复印机;柯达公司则对最新型号的一次性相机作了精心的改进,使其用过以后变成可以回收再利用的所谓“绿色电子垃圾”。

## (二) 欧盟废旧家电回收再利用现状

欧盟是全球积极防治污染的先导者,其许多环保技术(包括管理技术)都是

世界上十分先进的,先后出台了许多环保法规。欧盟于 2005 年 8 月 13 日实施的《关于报废电子电气设备指令》(简称 WEEE 指令)和 2006 年 7 月 1 日实施的《关于在电子电气设备中限制使用某些有害物质指令》(简称 ROHS 指令)已引起世界各国和家电业的高度关注。根据 WEEE 指令,自 2005 年 8 月 13 日起,欧盟市场上流通的电子电气设备的生产商必须承担起支付自己报废产品回收费用的责任。今后电器生产企业必须无条件回收自己的废旧产品,电器生产企业既可单独建立一套回收系统,也可选择支付相应的费用,由市政企业或专业公司负责回收。根据 ROHS 指令,自 2006 年 7 月 1 日起,所有在欧盟市场上出售的电子电气设备必须禁止使用铅、水银、镉、六价铬等重金属以及聚溴二苯醚(PBDE)和聚溴联苯(PBB)等阻燃剂。该指令的管辖范围涉及近 100 种终端产品。

德国回收再利用废旧电器的指导思想是减少污染,节约能源。作为欧洲的一个家电生产和消费大国,德国每年产生各种电子垃圾近 2000 万吨,人均约 25 kg。面对数量如此庞大的废旧电器,德国采取多种方法进行回收、处理和利用,不仅大大降低了废旧电器对环境可能造成的污染,同时又充分利用了旧电器中的有效成分。

德国负责回收旧电器的机构是德国各市区直属的市政企业。为了方便民众进行废旧电器的回收,当局提供了几种处理废旧电器的方法:一是居民主动与负责回收旧电器的市政企业取得联系,由企业派人上门服务,但居民需要支付一定的运输费用,如在首都柏林,只要给指定机构打个电话或发个传真或电子邮件,就会有专人上门服务,但居民要根据电器的体积大小交纳 10~30 欧元的运输费用。比如,一台旧电视机或一台旧电冰箱要支付 25 欧元的处置费。二是居民自己开车将旧电器送到指定的回收中心,不用交纳任何费用。不过,柏林目前拥有的 16 个废旧电器回收场均远离市区,因此对于大多数市民来说存在不小的难度。三是居民按照指定的时间,将旧电器送到指定的地点。不少城市规定,在每年或每月的某一天或几天可以将旧电器扔到某些地点,然后由有关部门统一运走。如在波恩“一年有两天是收废旧家电的日子”,在这两天时间里,市民们会把自己家里淘汰的旧冰箱、电视、电脑等清理出来集中堆在路边。到时候市政公司的大卡车就会前来收走。如果是特别大的,到时候还可以请市政公司的员工上门收走。另外,德国废旧家电的出路之一是遍布全国各地的周末跳蚤市场。在德国,很多废旧电器并非不能使用,而是由高收入家庭更新换代淘汰下来的。各地的跳蚤市场为这些旧电器提供了发挥余热的场所。在德国生活着 400 多万外籍人,其中有不少是战争造成的难民,他们对质量尚好、价格低廉的旧电器情有独钟。另外,全国 200 多万大学生也是接纳二手电

器的强大队伍。有关统计显示,跳蚤市场每年销售的旧电器占全部废旧电器的7%左右。

德国十分重视废旧电器处理技术的研发,科研人员不久前发明了一种可以有效回收废旧电器上塑料和防火材料的溶解技术,根据这一技术,废旧电器被放入有专门溶解剂的池内,经过数小时溶解后再对溶解液进行处理,从中分离出可再利用物质,最后再将剩余的塑料转换成有使用价值的二次原料资源。

德国目前尚未出台专门的全国性废旧家电回收再利用法规,但一直依据20世纪90年代先后出台的《循环经济与废弃物管理法》和《信息产业废旧设备处理办法》,对废旧家电进行积极的回收再利用。同时,各州还根据自己的实际情况制定了有关旧家电回收的地方法规,这些相关法规和办法在涉及废旧家电方面除了对其回收和利用进行具体的规定外,还都强调了个国家环保政策的一大原则:谁污染谁治理。从而明确了生产者的职责,生产企业无条件回收自己的废旧产品。专家强调,决定家电产品中有害物质含量的是制造商,因此首要的污染者不是消费者,而是制造商。另外,进口商也是污染责任者。

目前,德国正在根据欧盟指令着手制定本国的废旧家电回收再利用法,希望通过相关法律法规,进一步明确制造商对其设计、制造和销售的家用电器和电子产品有义务进行收集、再使用和处置等。促使制造商开发绿色家电,即从电器的原材料选择和产品设计开始,就为将来的使用和废弃考虑,形成资源→产品→再生资源的良性循环,从根本上解决环境与发展的长期矛盾。

芬兰政府目前正在着手制定有关家电和电子垃圾回收方面的法律和规定,以减少电子垃圾的数量及其产生的危害。根据正在制定中的新规定,家电及电子产品的生产商和进口商应负责其生产和销售的家电及电子产品的回收再利用,安排电子垃圾的回收处理,并承担家庭电子垃圾的回收费用。不过,在新规定正式出台前,人们在购买新家电和电子产品时,可将旧家电送到商店由其负责回收处理或者将旧家电送往回收中心。目前,芬兰各地的环保和垃圾处理部门定期派出电子垃圾回收车在居民区巡回回收电子垃圾。如首都赫尔辛基现有三个垃圾站和一个回收中心负责回收家庭和企业的电子垃圾。赫尔辛基的垃圾处理部门每年还两次派回收车在市内回收电子垃圾,对回收的电子垃圾收取一定的处理费。

近些年,专门从事电子垃圾处理的公司芬兰应运而生。目前,在芬兰每年回收再利用的2万吨家电和电子垃圾中,50%是由芬兰库萨科斯基公司进行分类加工处理的。该公司成立于1914年,以回收再利用工业金属垃圾起家,目前在芬兰全国各地有17个垃圾回收站,负责回收各种电子垃圾和金属垃圾。同时,库萨科斯基公司专门为大量使用电子设备的客户提供全套电子垃圾回收

处理服务,根据不同客户的需求,制定电子垃圾回收计划并签订回收协议,定期到这些公司、机构及政府有关部门回收电子垃圾。库萨科斯基公司还对所提供的服务进行监督,必要时向客户提供有关报告以及已处理电子垃圾的证明。

全世界第一家专门处理电子垃圾的现代化工厂 2001 年在芬兰北部的电子城奥鲁市建成投产,这家名叫“生态电子公司”的工厂采用类似矿山冶炼的生产工艺,把废旧手机和个人电脑以及家用电器进行粉碎和分类处理,然后对材料重新回收再利用。利用这项由该公司与奥鲁大学和赫尔辛基工业大学联合开发的新技术,“生态电子公司”每年可以处理电子垃圾 1500~2000 吨,由于建有良好的环保处理系统,不会给地下水源和空气造成污染。“生态电子公司”还计划在南部福尔萨市再建造一个年处理能力为现有工厂 5 倍的新工厂。目前,在芬兰处理一吨电子垃圾的成本为 700~1300 欧元,从电子垃圾中所回收的金属、塑料和玻璃大部分在芬兰本国加以利用。其中铝、铁、铜、锌等金属是回收中最能得到充分利用的原材料。芬兰在电子垃圾的回收再利用方面还有很大潜力,专门进行电子垃圾处理的公司还在不断增加。到 2006 年,芬兰全国回收再利用的电子垃圾达到 8 万吨。预计到 2010 年芬兰电子垃圾的回收再利用率有望接近 100%<sup>[5]</sup>。

### (三)日本废旧家电回收再利用状况

日本是家电生产大国,也是废旧家电产生大国。据日本有关部门统计,日本每年要废弃 1800 万台电视、冰箱、空调和洗衣机,重量达 60 万吨,在这些废弃家电中,各类金属有 10 万吨。2001 年日本政府正式颁布实施《特定家用机器再商品化法(家电回收法)》,立法宗旨是推进废旧家电回收再利用,促进资源循环再生利用并减少废弃物对环境的污染,改善环境质量。在日本,废旧家电回收再商品化处理地点分为 A、B 两组,其家电生产企业根据自愿组合的方式,成立了由松下、东芝组成的 A 组,索尼、日立、夏普等电器生产企业组成的 B 组。两组各自负责承担本组别产品的回收处理。而进口的产品,则由家电产品协会确定其回收再商品化的费用和处理组别。

现在,日本 A、B 两组分别拥有 190 个废旧家电接收地点,日本全国境内有近 7.5 万家零售店和上万家邮局可接受废旧家电。另外,A 组还有 30 个再商品化处理点,B 组有 16 个,A、B 共同管理的有两个,共有 48 个处理点。这些点会按照法律规定的再商品化标准对废旧家电进行手动分解和一些区分处理工作,然后再商品化。可以说,日本废旧家电的回收再商品化处理网络已经有序地建立起来了。

目前废旧家电回收再利用的处理对象包括显像管电视(报废年限为 15 年,