

环境工程系列图书

固体废物治理技术丛书

# 电子废物 处理技术

DIANZI FEIWU CHULI JISHU

李金惠 温雪峰 等编著

中国环境科学出版社



环境工程系列图书——固体废物治理技术丛书

# 电子废物处理技术

李金惠 温雪峰 等编著

中国环境科学出版社·北京

## 内容简介

本书是《环境工程系列图书》之《固体废物治理技术丛书》中的一本。

全书详细地介绍了当前国内外对电子电气设备在报废后, 如何进行处理和处置, 对电子废物如何进行资源化再利用。

本书内容丰富, 案例具体, 很有说服力。

本书适合从事电子电气设备生产、科研、销售部门的领导、科技人员阅读; 也适合大专院校相关专业的教师、学生做教科书或参考图书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子废物处理技术 / 李金惠等编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2006.7

(环境工程系列图书. 固体废物治理技术丛书)

ISBN 7-80209-249-3

I. 电… II. 李… III. 电子设备—废物处理 IV. X76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 157000 号

责任编辑 刘大激 赵惠芬 季苏园

封面设计 龙文视觉

---

出版发行 中国环境科学出版社  
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)  
网 址: <http://www.cesp.cn>  
联系电话: 010-67112765 (总编室)  
发行热线: 010-67135108

印 刷 北京市联华印刷厂  
经 销 各地新华书店  
版 次 2006 年 7 月第一版  
印 次 2006 年 7 月第一次印刷  
印 数 1—2000  
开 本 787×1092 1/16  
印 张 12.75  
字 数 300 千字  
定 价 28.00 元

---

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

## 编者的话

电子废物是随着经济的发展,特别是电子电器行业的飞速发展,电子电器产品的更新换代而出现的。电子废物产生量大,含有毒有害物质,但是,也具有一定的资源化利用价值。由于电子废物处理不当而造成的环境污染问题已经引起社会各界的广泛关注,社会各界对电子废物的资源化、无害化处理的呼声越来越高。

国家发展与改革委员会、信息产业部、国家环境保护总局围绕电子废物管理、回收、处理处置的相关政策和法规的制订开展了大量工作。国内一些高校、研究所、企业开展了大量的处理和回收技术研发工作。就整体而言,电子废物的处理和回收利用在我国还是一个新的亟待开发的领域,系统介绍电子废物管理、处理处置技术的书籍也比较少。

本书以废计算机、电视机、冰箱、空调、洗衣机为研究对象,较系统地介绍了电子废物的特点、国内外电子废物管理现状、污染防治及资源化处理技术。希望本书的出版能够在推动我国电子废物处理和资源化利用的发展中起到积极的作用。

清华大学环境科学与工程系多年来在电子废物的处理和资源化利用方面开展了大量工作。有幸承担了国家 863 高科技发展项目《废旧家电资源化利用成套技术研究》课题,以及国家“十五”环境保护科技攻关项目《废弃电子电器产品拆解、资源化利用和处理处置技术导则》专题,以及国家环境保护总局安排的多项有关课题的研究。清华大学环境科学与工程系聂永丰教授、白庆中教授对本人开展此领域的研究进行了指导和帮助,鲁玺硕士、吴霆硕士、朱芬芬硕士、邹亮硕士、胡利晓硕士对本书的编写做出了重要贡献。

在编写本书的过程中,清华大学环境科学与工程系的解书芬进行了图片编辑工作,胡利晓、郑莉霞进行了外文资料的翻译工作,刘和平、赵明、于可利、刘华峰、高松、王泽峰同学为本书初稿进行了校对和修改工作,在此编者深表谢意和敬意。

由于时间所限以及水平欠缺,书中难免有不足之处,敬请读者予以指正。

通讯地址:清华大学环境科学与工程系

联系电话: 62794351

电子邮件: JINHUI@TSINGHUA.EDU.CN

李金惠于北京清华园

2005年9月

# 目 录

1 概 述.....	1
1.1 电子废物的范畴.....	1
1.2 电子废物的产生.....	2
1.2.1 产生源.....	2
1.2.2 产生量预测.....	2
1.3 电子废物的特点.....	5
1.3.1 高速增长性.....	6
1.3.2 资源性.....	6
1.3.3 污染环境的潜在性.....	8
1.4 我国电子废物处理行业.....	9
1.4.1 进口电子废物再生利用产业的发展.....	9
1.4.2 电子废物的处理处置技术.....	10
1.4.3 再生利用企业的生产经营状况.....	11
1.4.4 再生利用企业生产规模及特点.....	12
1.4.5 电子废物处理设施.....	12
1.5 电子废物的管理.....	14
1.5.1 欧盟电子废物管理.....	14
1.5.2 荷兰电子废物管理.....	15
1.5.3 日本电子废物管理.....	16
1.5.4 美国电子废物管理.....	18
1.5.5 我国台湾地区电子废物管理.....	21
2 主要电子产品的发展趋势及其特性.....	23
2.1 计算机.....	23
2.1.1 计算机发展历史.....	23
2.1.2 计算机的分类.....	26
2.1.3 计算机的组成.....	29
2.2 电视机.....	34
2.2.1 电视机历史背景.....	34
2.2.2 电视机分类与构成.....	35
2.2.3 电视机的使用寿命.....	38

2.2.4 电视机的组成.....	40
2.3 电冰箱 .....	42
2.3.1 电冰箱的发展历史.....	42
2.3.2 电冰箱分类.....	43
2.3.3 电冰箱的构成.....	44
2.4 空调机 .....	46
2.4.1 空调机的发展历史.....	46
2.4.2 空调机的分类与构成.....	47
2.4.3 空调机的组分材料.....	49
2.5 洗衣机 .....	55
2.5.1 洗衣机发展历史.....	55
2.5.2 洗衣机分类与构成.....	56
2.5.3 洗衣机的材料组成.....	58
<b>3 电子废物拆解技术和设备.....</b>	<b>63</b>
3.1 电子废物拆解的一般考虑 .....	63
3.2 废印刷电路板的拆解 .....	64
3.2.1 废印刷电路板的半自动拆解技术.....	64
3.2.2 废印刷电路板的自动拆解技术.....	65
3.3 废 CRT 电视机和显示器的拆解 .....	66
3.3.1 废 CRT 的拆解技术 .....	66
3.3.2 废 CRT 显示器的自动拆解技术 .....	68
3.3.3 自动拆解技术的评估.....	71
3.4 制冷设备的拆解技术与设备 .....	71
3.4.1 废压缩机的拆解技术与设备.....	71
3.4.2 废冰箱钢板的拆解技术与设备.....	74
3.4.3 废空调热交换器的拆解技术与设备.....	75
3.5 废洗衣机污染控制的拆解技术和设备 .....	79
3.5.1 废洗衣机自动拆解技术与设备介绍.....	79
3.5.2 德国废洗衣机自动拆解技术与设备介绍.....	80
<b>4 印刷电路板污染控制的资源化利用技术.....</b>	<b>82</b>
4.1 印刷电路板简介 .....	82
4.2 印刷电路板回收利用技术 .....	84
4.2.1 酸洗法.....	84
4.2.2 焚烧法.....	85
4.2.3 直接冶炼法.....	86
4.2.4 热解法.....	87
4.2.5 电解法.....	88

4.2.6 生物处理法.....	89
4.2.7 超临界水氧化法.....	89
4.2.8 机械物理法.....	89
4.3 废印刷电路板回收利用技术评价 .....	90
<b>5 机械物理法回收处理废印刷电路板.....</b>	<b>91</b>
5.1 印刷电路板破(粉)碎技术与设备 .....	91
5.1.1 印刷电路板的粗碎技术与设备.....	91
5.1.2 印刷电路板的常温细碎技术与设备.....	92
5.1.3 印刷电路板的低温细碎技术与设备.....	95
5.2 废印刷电路板的主要物理分选方法和设备 .....	97
5.2.1 磁选.....	97
5.2.2 静电分选.....	98
5.2.3 涡电流分选.....	99
5.2.4 形状分选.....	99
5.2.5 重选.....	100
5.3 国外机械物理法处理废印刷电路板的主要工艺.....	102
5.3.1 “破碎+磁选+电选”工艺流程.....	102
5.3.2 “破碎+磁选+电选+气流分选+涡电流分选”工艺流程.....	103
5.3.3 “破碎+流化床分选”工艺流程.....	105
5.3.4 “破碎+形状分选”工艺流程.....	105
5.3.5 “破碎+旋流分选+电选”工艺流程.....	106
5.3.6 “破碎+重选+光压分选”工艺流程.....	107
5.3.7 “破碎+分级分选”工艺流程.....	107
5.3.8 “破碎+涡电流分选+电选”工艺流程.....	108
5.4 我国机械物理法处理废印刷电路板的主要工艺.....	108
5.4.1 “湿法破碎+水力摇床分选”工艺流程.....	108
5.4.2 “干法破碎+气流/气力摇床分选”工艺流程.....	109
5.4.3 “干法破碎+静电分选”工艺流程.....	110
5.4.4 “干法破碎+静电分选+离心分选”工艺流程.....	111
<b>6 制冷设备中有毒有害物质的资源化利用技术和设施.....</b>	<b>113</b>
6.1 制冷设备中的有毒有害物质 .....	113
6.1.1 制冷剂.....	113
6.1.2 发泡剂.....	114
6.1.3 聚氯联苯.....	114
6.1.4 压缩机油.....	115
6.2 制冷剂污染控制的资源化利用技术和设施 .....	115
6.2.1 制冷剂的预处理.....	115

6.2.2	CFC 制冷剂的回收处理	116
6.2.3	制冷剂的回收装置	116
6.2.4	制冷剂的处置	117
6.3	压缩机油污染控制的资源化利用技术	119
6.3.1	压缩机油的储存	119
6.3.2	压缩机油的处置	119
6.4	冰箱聚氨酯的资源化利用技术	120
6.4.1	物理回收	120
6.4.2	化学回收	122
6.4.3	原料回收和能量回收	122
7	电子废物中塑料的资源化利用技术	124
7.1	电子废物中塑料的种类	124
7.2	电子废物塑料的整体资源化技术	126
7.2.1	电子废物塑料的分拣	126
7.2.2	电子废物塑料的资源化方法	128
7.3	ABS 塑料的资源化利用技术	131
7.4	PVC 塑料的资源化利用技术	133
7.4.1	机械回收	133
7.4.2	化学回收	134
7.4.3	PVC 废物处理处置	136
8	废 CRT 显示器的资源化利用技术	138
8.1	CRT 玻壳玻璃的成分分析	138
8.2	废 CRT 玻壳的浸出毒性	139
8.3	废 CRT 玻壳的浸出特性	140
8.3.1	浸取液 pH 值对浸出结果的影响	141
8.3.2	粒径对浸出结果的影响	142
8.3.3	其他因素对浸出结果的影响	142
8.3.4	浸出机理浅析	143
8.4	废 CRT 的清洗技术	145
8.5	废 CRT 显示器的资源化一般流程	145
8.6	破碎的 CRT 玻璃的分选技术	147
9	废液晶显示器的资源化利用技术	149
9.1	日本废液晶显示器资源化利用技术与设施	149
9.2	欧盟废液晶显示器资源化利用技术与设施	151
9.3	我国台湾地区废液晶显示器资源化利用技术与设施	152



10 电子废物资源化处理技术案例.....	156
10.1 日本电子废物资源化处理案例 .....	156
10.2 我国台湾百盈系统科技股份有限公司电子废物资源化案例.....	163
11 电子废物处理的环境技术经济评价 .....	168
11.1 处理工艺介绍.....	168
11.2 处理厂厂房布置.....	172
11.3 评价体系的介绍.....	176
11.4 评价结果.....	179
参考文献.....	185

## 1.1 电子废物的范畴

电子电器废物是指废弃的电子电器设备及其零部件。包括：生产过程中产生的不合格设备及其零部件；维修过程中产生的报废品及废弃零部件；消费者废弃的设备以及根据有关法律法规被视为的电子电器废物。在巴塞尔公约的文件中，一般使用电子废物这个词泛指电子电器废物。巴塞尔公约对电子电器废物的分类进行了详细规定，见表 1-1。

表 1-1 巴塞尔公约中对电子电器废物的分类

电子电器废物	
视为危险废物的 (A1180)	视为非危险废物的 (B1110)
废旧电器和电子组件或零件含有成分为名录 A 所列蓄电器和其他电池、汞开关、阴极射线管玻璃和其他活化玻璃、PCB 电容器或污染了附件 I 物质，如镉、汞、铅、多氯联苯其程度足以具有附件 III 所列的特性（注意名录 B 中 B1110 的相关条目）	仅有金属或合金构成的电子装置；电器装置和电子装置或碎片，包括印刷电路板不附有名录 A 所列的蓄电池和其他电池、汞开关、阴极射线管玻璃和其他具有放射性玻璃、含 PCB 电容器或者没有被附件 I 物质（如镉、汞、铅、PCB）污染的程度或对此类物质进行清除后不致使其具有附件 III 中所列出的特性（注意名录 A 的有关条目 A1180）；用来直接再利用而不是回收处理或最终废弃的电气或电子装置（包括印刷电路板，电子元件及电线电缆）

在欧盟 2003 年 1 月 27 日（2002/96/EC）颁布的法令中采用了电子电器废物（WEEE）这一概念。在该指令中，“电子电器设备”或者“EEE”指的是属于附件 IA 所列类别下的、设计使用电压为交流电不超过 1 000V 和直流电不超过 1 500V 的、正常工作需要依赖电流或者电磁场的设备和实现这些电流与磁场的产生、传递和测量的设备。“报废电子电器设备”（WEEE）指的是按照第 75/442/EEC 号指令第 1 条（a）款（废物是指拥有者处置或国家法律要求进行处置的任何物质或物品；处置是指废物的收集、分类、运输和处理、在地下或地上的贮存和堆放，为了再利用、回收而必需的转换操作）定义确定为废弃物的电子或者电器设备，包括在产品抛弃作为其一部分的部件成分、部件和消耗件。指令管辖以下十类产品中交流电不超过 1 000V，直流电不超过 1 500V 的设备：（1）大型家用器具，如冰箱、洗衣机、微波炉；（2）小型家用器具，如吸尘器、熨斗、钟表；（3）信息技术和远程通讯设备，如计算机、复印机、打印机；（4）用户设备，如电视机；（5）照明设备，如荧光灯；（6）电器和电子工具，如电锯、缝纫机；（7）玩具、休

闲和运动设备；(8) 医用设备；(9) 监视和控制装置；(10) 自动售货机。

在我国规范性文件中，如国家环境保护总局文件，环发[2003]143号——关于加强废弃电子电器设备环境管理的公告，电子电器设备是指依靠电流或电磁场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场的设备；其设计使用的电压为交流电不超过1000V或直流电不超过1500V。具体产品包括：冰箱、洗衣机、微波炉、空调等大型家用电器；吸尘器、电动剃须刀等小型家用电器；计算机、打印机、传真机、复印机、电话机等信息技术（IT）和远程通讯设备；收音机、电视机、摄像机、音响等用户设备；钻孔机、电锯等电子和电器工具；电子玩具、休闲和运动设备；放射治疗设备、心脏病治疗仪器、透视仪等医用装置；烟雾探测器、自动调温器等监视和控制工具；各种自动售货机等。在技术政策的制定中，采用了电子电器废物这个概念。在管理条例的制定中，采用了废旧家用电器这个概念，并首先列出了计算机、电视机、电冰箱、空调机和洗衣机作为管理的对象。

## 1.2 电子废物的产生

### 1.2.1 产生源

电子废物一般来源于电子产品的生产企业、维修服务企业和消费者。我国电子废物的来源还包括国外进口。根据电子电器产品的使用目的可将中国电子废物的主要产生源分为社会源和工业源。以家庭为单位的消费者、个体消费者、大量使用电子电器设备的企业或行政事业单位、个体电子电器设备维修点属于社会源，电子电器设备制造企业和大型电子电器设备维修服务企业属于工业源（见表1-2）。

表 1-2 电子废物的主要产生源

类别	主要的产生源	废电视机	废洗衣机	废电冰箱	废空调机	废计算机	废手机
社会源	以家庭为单位的消费者	*	*	*	*	*	
	个体消费者					*	*
	大量使用电子电器设备的企业	*	*	*	*	*	
	大量使用电子电器设备的行政事业单位	*	*	*	*	*	
工业源	电子电器设备制造企业	*	*	*	*	*	*
	电子电器设备维修服务企业	*	*	*	*	*	*
	国外的电子废物进口	*	*	*	*	*	*

\*为选用符号

### 1.2.2 产生量预测

目前，我国政府统计部门还没有关于全国的电子废物实际产生量的专项统计数据。一方面由于电子废物的产生数量大，而且具有去向复杂多变和流动性的特点，例如通过

二手市场交易和其他回收利用方式，电子废物从相对发达地区流入相对不发达地区，因此电子废物的实际数量难以准确估计；另一方面，随着电子废物的数量不断增加及其带来的环境问题日益突出，电子废物的研究才在国内逐渐引起重视，因此近期也难以迅速对全国的电子废物实际产生的数量做出统计。

根据中国统计年鉴和对外经济关系的贸易年鉴中电子电器产品的年产量和年进出口数量，利用描述耐用产品市场需求变化趋势可模拟预测电视机、电冰箱、空调机、洗衣机、计算机的年度消费量。

一般电子电器产品都存在使用服务时间的限制，电视机、电冰箱、空调机、洗衣机、计算机属于耐用类电子电器产品，同时考虑到消费者生活水平提高和这类产品的更新换代速率较快，它们的实际使用频率开始呈递减的趋势，因此分别设定它们的使用服务时间约为 10、12、13、11、4 年，超过各自的使用服务时间后这些产品将无法再使用或无消费者愿意使用，属“废”电子电器产品，这类电子废物的产生量随时间的变化趋势分别详见表 1-3、1-4、1-5、1-6、1-7，表中\*标记的数据是由相邻年度数据的相关性计算出的数据。

由表 1-3~表 1-7 数据可知，自 2005 年开始，“废”彩电、电冰箱、空调机、洗衣机、计算机的数量将显著增加，尤其是废计算机的数量随着其消费的快速增长而更加突出。到 2010 年废彩电、废电冰箱、废洗衣机、废空调机、废计算机的数量将分别达到 5 800 万台以上、900 万台以上、1 100 万台以上、1 200 万台以上、7 000 万台以上，因此十年后废计算机的数量最多，其次是废彩电、废空调机、废洗衣机，而废电冰箱的数量最少。

表 1-3 我国彩色电视机的年度统计数据 and 废彩色电视机的年度产生量预测 (单位: 万台)

年度	彩色电视机				年度	废彩色电视机产生量
	产量	出口量	进口量	消费量		
1989	940.02	207.00	8.37	741.39	2004	1 485.15
1990	1 033.04	362.12	3.70	674.62	2005	1 573.32
1991	1 205.06	340.26	5.02	869.82	2006	2 041.25
1992	1 333.08	317.44	7.06	1 022.70	2007	2 324.63
1993	1 435.76	310.79	7.60*	1 132.57	2008	3 088.52
1994	1 689.15	222.05	18.05*	1 485.15	2009	3 718.75
1995	2 057.74	517.50	33.08*	1 573.32	2010	5 833.94
1996	2 537.60	537.15	40.80	2 041.25	2011	3 251.85
1997	2 711.33	428.96	42.26	2 324.63	2012	3 917.88
1998	3 497.00	438.82	30.34	3 088.52	2013	4 041.73
1999	4 262.00	568.92	25.67	3 718.75	2014	4 251.48
2000	3 936.00	1 031.80	8.92	2 913.12	2015	4 449.13
2001	4 093.70	1 179.16	6.28	2 920.82		
2002	5 155.00	1 917.93	14.78	3 251.85		
2003	7 089.37	3 268.00	96.51	3 917.88		

表 1-4 我国洗衣机的年度统计数据 and 废洗衣机的年度产生量预测 (单位: 万台)

年度	洗衣机				年度	废洗衣机产生量
	产量	出口量	进口量	消费量		
1989	825.40	23.14	0.10	802.36	2004	666.74
1990	662.68	29.30	0.47	633.85	2005	872.73
1991	687.17	38.37	0.01	648.81	2006	1 048.14
1992	707.93	41.64	0.45	666.74	2007	903.76
1993	895.85	23.37	0.25*	872.73	2008	1 022.98
1994	1 094.24	46.10	4.79*	1 048.14	2009	1 187.42
1995	948.41	49.83	5.18	903.76	2010	1 158.85
1996	1 074.72	55.86	4.12	1 022.98	2011	1 280.54
1997	1 254.48	70.50	3.44	1 187.42	2012	2 530.44
1998	1 207.31	52.53	4.07	1 158.85	2013	1 374.37
1999	1 342.17	64.05	2.42	1 280.54	2014	1 673.12
2000	1 442.98	100.70	3.49	1 345.77	2015	1 519.46
2001	1 341.61	161.40	4.46	1 184.67		
2002	1 595.76	224.40	3.01	1 374.37		
2003	1 942.64	273.18*	3.66*	1 673.12		

表 1-5 我国电冰箱的年度统计数据 and 废电冰箱的年度产生量预测 (单位: 万台)

年度	电冰箱				年度	废电冰箱产生量
	产量	出口量	进口量	消费量		
1989	670.79	23.21	28.80	676.38	2004	446.84
1990	463.06	38.65	6.84	431.25	2005	444.50
1991	469.94	23.25	0.15	446.84	2006	578.01
1992	485.76	41.71	0.45	444.50	2007	727.45
1993	596.66	19.20	0.55*	578.01	2008	869.56
1994	768.12	41.38	0.71*	727.45	2009	924.22
1995	918.54	54.06	5.08	869.56	2010	966.81
1996	979.65	58.16	2.73	924.22	2011	973.45
1997	1 044.43	79.36	1.74	966.81	2012	1 086.99
1998	1 060.00	88.19	1.64	973.45	2013	2 094.18
1999	1 210.00	124.34	1.33	1 086.99	2014	1 242.00
2000	1 279.00	218.04	0.67	1 061.63	2015	1 714.78
2001	1 351.26	319.42	0.71*	1 032.55		
2002	1 598.87	357.71	0.84*	1 242.00		
2003	2 207.50	493.88*	1.16*	1 714.78		

表 1-6 我国空调机的年度统计数据 and 废空调机的年度产生量预测 (单位: 万台)

年度	空调机				年度	废空调机产生量
	产量	出口量	进口量	消费量		
1989	37.47	0.75*	0.37*	37.09	2004	342.94
1990	24.07	0.48*	0.24*	23.83	2005	389.48
1991	63.03	1.26*	0.63*	62.40	2006	676.43
1992	158.03	3.16*	1.58*	156.45	2007	771.19
1993	346.41	6.93*	3.46*	342.94	2008	923.68
1994	393.42	7.87*	3.93*	389.48	2009	1 089.14
1995	682.56	14.59	8.46	676.43	2010	1 235.02
1996	786.21	19.67	4.65	771.19	2011	3 668.45
1997	974.01	51.38	1.05	923.68	2012	2 524.40
1998	1 156.87	68.33	0.60	1 089.14	2013	3 875.04
1999	1 337.64	106.38	3.76	1 235.02	2014	2 992.61
2000	1 826.67	178.00	3.49	1 652.16	2015	3 250.11
2001	2 333.64	318.40	1.05	2 016.29		
2002	3 135.11	611.63	0.92	2 524.40		
2003	4 812.50	938.87*	1.41*	3 875.04		

表 1-7 我国计算机的年度统计数据 and 废计算机的年度产生量预测 (单位: 万台)

年度	计算机				年度	废计算机产生量
	产量	出口量	进口量	消费量		
1989	7.54	0.53*	4.37*	11.38	2004	375.90
1990	8.21	0.57*	4.76*	12.40	2005	1 337.21
1991	16.25	1.14*	9.43*	24.54	2006	1 376.40
1992	12.62	0.88*	7.28	19.02	2007	3 079.10
1993	14.66	1.03*	11.31	24.94	2008	3 177.35
1994	24.57	1.72*	7.56	30.41	2009	4 782.64
1995	83.57	5.85*	8.80	86.52	2010	7 190.08
1996	138.83	9.44	2.12	131.51	2011	10 796.10
1997	206.55	17.97	2.33	190.91	2012	16 190.75
1998	291.40	24.81	4.95	271.54	2013	24 251.37
1999	405.00	34.52	5.42	375.90	2014	90 491.88
2000	672.00	164.79	4.73	511.94	2015	80 904.88
2001	877.65	55.46	3.08	825.27		
2002	1 463.51	89.24	2.15	1 376.40		
2003	3 083.94	9.35	4.53*	3 079.10		

### 1.3 电子废物的特点

电子废物是随着经济的高速发展,特别是电子产业的飞速发展,电子产品的不断更新换代而出现的。电子废物具有高速增长性、可重复利用性、可作为再生资源回收利用

及对环境的潜在污染性。

### 1.3.1 高速增长性

据统计,目前芬兰每年产生的电子废物达 10 万 t,德国 180 万 t,法国 150 万 t,整个欧洲约 600 万 t,美国电子废物占全美垃圾量的 2%~5%,我国 2003 年产生的电子废物数量约 200 万 t。目前我国电视机、冰箱、洗衣机、空调的社会保有量分别为 4.0 亿台、1.5 亿台、1.9 亿台和 0.8 亿台。这些电器大都是 20 世纪 80 年代中后期进入百姓家庭,按照 10 年至 15 年的使用寿命计算,现在已步入报废高峰期。手机、掌上电脑、影碟机等新兴电子产品的社会保有量也都达到了 1 亿台以上。从 2003 年起,我国每年至少有 500 万台电视机、400 万台冰箱、600 万台洗衣机需要报废。废旧计算机的数量同样也非常巨大,据国际调研公司 IDC 估计,2004 年全球使用中的计算机已达到 7.49 亿台。据专家估计,我国每年将有 2 000 余万台计算机达到报废年限。如何处理这些电子废物,实现电子废物的资源化与无害化,成为当务之急。

### 1.3.2 资源性

表 1-8 给出了电子电器废物的主要组分。表 1-9 列出常见的四种家用电器(电视机、冰箱、空调和洗衣机)中所含的主要组分。表 1-10 列出了重量为 30kg 台式计算机所含的各种组分。表 1-8 和表 1-9 的结果表明,不同电子产品,其对应组分的比例会有很大差异,但整体而言,金属和塑料占电子电器废物总重的比例很高,除了一般金属外,还含有大量贵金属、稀有金属,可回收利用的潜在价值很大,是一座期待开采的“矿山”。与传统的矿山相比,电子废物品位高,可以省去勘探、开采费用,加工成本低。

表 1-8 电子电器废物所含的主要组分及重量比

物质	比例 (%)
金属	49.00
塑料	20.70
玻璃/陶瓷	18.10
电线	0.40
印刷电路板	1.20
木材	0.30
橡胶	0.40
绝缘体	0.80
混凝土	4.10
其它	5.00
总计	100.00

来源: 李金惠, 2005

表 1-9 四种家用电器所含的主要组分及重量比

名称比例	电视机	冰箱	空调	洗衣机
铝	2	3	7	3
铜	3	4	17	4
铁	10	50	55	53
塑料	23	40	11	36
玻璃	57	—	—	—
其它	5	3	10	4
总计	100	100	100	100

来源：李金惠，2005

表 1-10 台式计算机所含的主要物质及重量比

名称	重量百分比	重量/磅	名称	重量百分比	重量/磅
塑料	22.990 7	13.8	铊	0.000 2	<0.1
铅	6.298 8	3.8	钛	0.015 7	<0.1
铝	14.172 3	8.5	钒	0.001 6	<0.1
锗	0.001 6	<0.1	钴	0.015 7	<0.1
镓	0.001 3	<0.1	钨	0.000 3	<0.1
铁	20.471 2	12.3	锰	0.031 5	<0.1
锡	1.007 8	0.6	银	0.018 9	<0.1
铜	6.928 7	4.2	铋	0.009 4	<0.1
钡	0.031 5	<0.1	铀	0.006 3	<0.1
镍	0.850 3	0.51	铬	0.006 3	<0.1
锌	2.204 6	1.32	镉	0.009 4	<0.1
钽	0.015 7	<0.1	硒	0.001 6	0.000 96
铟	0.001 6	<0.1	铈	0.000 2	<0.1
钇	0.000 2	<0.1	钕	0.000 2	<0.1
铽	0	0	汞	0.002 2	<0.1
铍	0.015 7	<0.1	砷	0.001 3	<0.1
金	0.001 6	<0.1	硅	24.880 3	15

来源：李金惠，2005

注：1 磅 = 0.453 6kg

B.Jung、Klaus Göckmann 在公开发表的文章中分别报告了印刷电路板中的主要组成部分和元素组成比例。由于化验所用电路板的来源不完全相同，结果少有出入，但大体相差不大。从表 1-11 由 Klaus Göckmann 提供的数据可以看出，电路板中金属含量占 50% 左右，仅铜的含量就在 20%，此外还有少量的贵金属和稀有金属。1t 金矿石中含有超过 2g 黄金就具有开采价值了，而 1t 废弃电路板中 99.999% 含量的黄金达 80~1 500g，并且与传统的金属矿山开采、加工得到的价值相比，从废弃电路板中提炼各种稀有金属要比开矿容易得多，所以称之为“金矿”是当之无愧的。



表 1-11 印刷电路板的主要组成

有机物≤25%		金属≤50%	
塑料 添加剂	聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、 聚酯、酚树脂、聚碳酸酯<20% <5%	铜	20%
		铁	8%
		镍	2%
		锡	4%
		铅	2%
氧化物	≤35%	铝	2%
二氧化硅	15%	锌	1%
氧化铝	6%	铈	0.40%
碱性氧化物	6%	金	500g/t
其它陶瓷	3%	银	1 000g/t
		钯	50g/t

来源：温雪峰，2004

废弃电路板中除了含有大量金属外，还包含有大量直接或间接来源于石油产品的聚合物高分子材料，具有很高的热值，利用它们既可产生能源，也可生产相关的化学产品。Masatoshi Iji 等人应用热解法研究了回收树脂中的有机物和无机填料的可行性；我国台湾工业技术研究院的郑智合介绍了采用废弃电路板中的非金属与木屑按照一定的比例混合，制造合格安全的 PVC 地砖的方法。可见，废弃电路板具有很高的潜在价值。

### 1.3.3 污染环境的潜在性

虽然电子电器废物从整体而言可以粗略地分为金属、塑料、玻璃、陶瓷等几大类，但事实上废弃电子电器产品中含有 1 000 多种物质，其中很多是有毒物质，表 1-12 给出了废弃电子电器中所包含的主要危险组分。

表 1-12 电子电器废物中包含的主要危险组分

物质和组分	描述
电池	电池中所含的重金属比如铅、汞和镉
阴极射线管	锥玻璃中的铅和面板玻璃内部的荧光粉
含汞组分，比如含汞开关	传感器、继电器、开关中的汞（比如在印刷电路板中和在测量装置和放电管中），同样也存在于医疗设备，数据传输，电话和手机中
废石棉	废石棉必须进行单独处理
调色墨盒，液态和浆状的彩色粉	色粉和调色墨盒必须从电子电器废物中取出进行单独处理
印刷电路板	面积大于 10cm <sup>2</sup> 的印刷电路板必须单独拆除。在印刷电路板中，镉通常含在 SMD 芯片电阻器、红外检测器和半导体中
电容器中的多氯联苯	含多氯联苯的电容器必须除去进行安全处置
液晶显示器	表面积大于 100cm <sup>2</sup> 的液晶玻璃必须单独从电子电器废物中除去
含有卤化阻燃剂的塑料	含卤化阻燃剂的塑料在焚烧/燃烧过程中，会产生有害组分
含有 CFC、HCFC 或 HFCs 的设备	存在于泡沫和冷冻回路中的 CFC、HCFC、HFCs 必须进行合理地提取和分解处理或者循环使用
气体放电管	所含的汞必须预先除去

来源：李金惠，2005