

电子废物管理 理论与实践

李金惠 程桂石 等编著



THEORY AND PRACTICE
ON E-WASTE MANAGEMENT

中国环境科学出版社

电子废物管理理论与实践

李金惠 程桂石 李忠国 编著
陈 瑛 刘丽丽

X76
L182-3

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

电子废物管理理论与实践/李金惠等编著. —北京: 中国环境科学出版社, 2010.1
ISBN 978-7-5111-0143-3

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 (2009) 第 225008 号

责任编辑 黄晓燕 王天一
责任校对 刘凤霞
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.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2010 年 1 月第 1 版
印 次 2010 年 1 月第 1 次印刷
开 本 880×1230 1/32
印 张 7.75
字 数 200 千字
定 价 22.00 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

前 言

电子技术的快速发展，促进了电器电子产品的更新换代，淘汰或报废的电子物品成为了增长最快的固体废物，而得不到适当处理的电子废物会给人类的健康和生存环境造成很大的威胁和影响。

电子废物具有环境污染性和资源性双重属性。电子废物中含有铅、溴阻燃剂等有毒有害物质，在回收利用的过程中也会使用或生成有毒有害物质。电子废物中含有多种有价金属和材料，被人们称为“城市矿山”，其有价金属的含量以及“开采”价值均远远高于同类矿产资源。

电子废物中有价金属回收利润较高，极大地刺激了非正规的电子废物回收处理产业的发展。以电子废物拆解业为生的从业人群迅速发展壮大，电子废物的回收处理已自发形成一种民间产业。而这种民间产业的经营和发展却是环境管理的盲区，电子废物处理过程中有毒有害物质的释放已对我国部分地区的生态环境造成了破坏。

电子废物的污染问题早已受到了国家和地方各级环保部门的重视，电子废物管理政策法规相继颁布，相关的地方规范性文件和制度也陆续出台，大部分地区的电子废物污染问题也得到了一定程度的控制。然而，我国电子废物管理毕竟起步较晚，政策法规管理体系还不健全，仍存在法规操作性不强、强制性不够等诸多问题。地

方各部门对电子废物的相应管理也缺乏经验，需要在管理知识和管理技能上得到提高。为此我们根据在此领域多年研究和工作经验，编写了本书。

本书在国家“十五”环保科技攻关专题《废弃电子电器产品拆解、资源化利用和处理处置技术导则研究》、国家“十一五”科技支撑计划《清洁生产与循环经济的关键技术与示范研究》和国家“十一五”环保公益性项目《废旧家用电器回收利用与环境监管技术研究》工作的基础上，结合中国科学技术协会政策研究项目《电子垃圾处理政策研究》的研究成果，对我国电子废物的管理进行了评述和系统总结，并在此基础上提出了我国电子废物管理对策。参加这些研究和本书编写的骨干人员包括段华波、石丕星、苑文仪、于可利、刘华锋、高松、王泽峰、王斯婷、陈瑶、丁淑芳、赵娜娜、郑莉霞、辛立平等。

书中介绍了与电子废物有关的规划方法、评价方法及案例，用于指导地方进行电子废物处理处置设施建设规划。本书还对电子废物环境无害化处理技术作了阐述，可为电子废物的处理设施建设和运营者提供参考。

目 录

第 1 章 电子废物的资源特性及环境影响	1
1.1 概述	1
1.2 电子废物资源属性	2
1.3 电子废物的环境影响	7
第 2 章 电子废物政策与管理	19
2.1 欧盟的电子废物管理与政策	19
2.2 其他国家的电子废物管理与政策	32
2.3 我国的电子废物政策与管理	40
第 3 章 我国电子废物处理产业发展	49
3.1 我国电子废物处理产业发展概况	49
3.2 国家级电子废物处理处置产业示范点建设	55
3.3 其他电子废物处理处置单位	63
3.4 集散地电子废物处理现状	75
第 4 章 电子废物管理与对策	80
4.1 电子废物管理对策研究方法	80
4.2 我国电子废物管理对策举例	96
第 5 章 电子废物管理政策建议	102
5.1 加快推动电器电子产品生产者责任延伸 制度的设计与实施	102
5.2 制定有序开放的电子废物进口环境管理战略	106
5.3 强化从源头预防电子废物污染的生态设计	109

5.4	建立推动电子废物的规范化处理处置的政策体系	112
5.5	建立国际电子废物环境无害化管理标准体系	115
第6章	城市电子废物管理规划	119
6.1	规划的编制	119
6.2	规划的内容	122
6.3	典型城市电子废物管理方案规划	136
第7章	电子废物处理处置与利用技术评价	143
7.1	电子废物处理和利用技术评价及其作用	143
7.2	电子废物处理技术评价流程和评价标准	144
7.3	电子废物处理处置与利用技术评价方法	150
7.4	电子废物处理技术的层次分析评价及案例	156
第8章	电子废物处理处置技术指南	164
8.1	电子废物回收的整体工艺	164
8.2	电子废物拆解技术	169
8.3	电子废物资源化利用及污染控制	186
8.4	电子废物最终产物处置	196
8.5	环境卫生与安全防护要求	197
附录		
附录一	废弃家用电器与电子产品污染防治技术政策 (环发[2006]115号 2006-04-27实施)	199
附录二	废电池污染防治技术政策(2003-10-09)	209
附录三	电子信息产品污染控制管理办法	217
附录四	电子废物污染环境防治管理办法	224
附录五	废弃电器电子产品回收处理管理条例	233
参考文献	239

第 1 章 电子废物的资源特性及环境影响

1.1 概述

随着科学技术和新型产业的发展,电子电气设备在全球得到广泛普及,人们生活和工作中对电子产品的依赖性日益加强,电子产品已成为人类活动不可缺少的消费品。但在电子产品给人类带来收益促进人类技术文明的同时,其废弃产品,通常成为电子垃圾,一般称为电子废物,即指废弃的电子电气设备及其零部件。电子废物通常包括: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,被视为电子废物,对人类环境的污染以及对人类生存和发展空间构成威胁的废物。

目前我国已成为电器电子产品生产及消费大国,电器电子产品产量逐年攀升,其中手机及微型电子计算机产品的年增长量尤为明显,国家国民经济和社会发展统计公报数据见表 1-1。按手机、电脑的报废期 3~5 年,家电的报废期 10~15 年计算,家电自 20 世纪 80 年代初进入全国百姓家庭至今,许多冰箱、电视机、洗衣机已经到了报废期。目前我国正迎来一个由产品更新和使用年限双重制约的家电报废高峰期,电子废物已经成为数目巨大、较难管理的一类固体废物。

电子废物作为一种较特殊的固体废物,由于其成分的复杂性,如处理不当可能对环境和社会造成危害。许多家电中含有重金属、卤族化学物质等有毒有害物质。比如,废旧家电印刷电路板中含有

很多有毒材料，如铅、溴、镉等，如果直接扔弃或是处理不当，会对大气、土壤和地下水造成污染，对人类健康造成危害。

表 1-1 我国近几年电子产品产量及其增长率

类别	2005 年		2006 年		2007 年	
	产量/万台	增长率/%	产量/万台	增长率/%	产量/万台	增长率/%
手机	30 354	6.4	48 013.8	58.2	54 857.9	14.3
微型计算机	8 084	35.3	9 336.4	15.5	12 073.4	29.3
彩色电视机	8 283	11.5	8 375.4	1.1	8 433	0.7
家用冰箱	2 986	-0.7	3 530.9	18.2	4 397.1	24.5
空调	6 765	5.9	6 849.4	1.3	8 014.3	17

1.2 电子废物资源属性

1.2.1 电子废物分类

1.2.1.1 电子废物定义

电子废物是废弃的电子电器设备的总称，属于固体废物。在欧盟 2003 年 1 月 27 日颁布的欧盟废旧电子电器回收指令(2002/96/EC)中采用了报废电子电器设备(WEEE)这一概念。在该指令中，“电子电器设备”(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 1 000 V 和直流电不超过 1 500 V 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、回收而必须的转换操作)定义确定为废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所有成分、部件和消耗件。

在我国《电子废物污染环境防治管理办法》(2007年)中,电子废物定义为:废弃的电子电器产品、电子电气设备(以下简称产品或者设备)及其废弃零部件、元(器)件和国家环境保护部会同有关部门规定纳入电子废物管理的物品、物质。包括工业生产活动中产生的报废产品或者设备、报废的半成品和下脚料,产品或者设备维修、翻新、再制造过程产生的报废品,日常生活或者为日常生活提供服务的活动中废弃的产品或者设备,以及法律法规禁止生产或者进口的产品或者设备。

1.2.1.2 电子废物分类

欧盟废旧电器电子回收指令对电子产品进行了限定和分类,指令中所定义电子电气是指交流电不超过1 000 V,直流电不超过1 500 V的设备,主要有十大类,见表1-2。

表 1-2 欧盟电器电子产品分类

序号	产品类别
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:电脑、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	医疗设备
9	监视和控制装置
10	自动售货机

参照欧盟电子产品的归类方法,在我国规范性文件中,对电子电气设备有所分类,如在国家环境保护总局文件(环发[2003]143号)《关于加强废弃电子电气设备环境管理的公告》中提出,电子

电气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 1 000 V 或直流电不超过 1 500 V 的设备，具体产品如表 1-3 所示。

表 1-3 我国电器电子产品分类

序号	产品类别	产品名称
1	家用电器	冰箱、洗衣机、微波炉、空调器等大型家用电器及吸尘器、电动剃须刀等小型家用电器
2	信息和通讯设备	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
3	用户设备	收音机、电视机、摄像机、音响等
4	电器和电子工具	钻孔机、电锯等电子和电器工具
5	玩具、休闲和运动设备	电子玩具、休闲和运动设备
6	医用设备	放射治疗设备、心脏病治疗仪器、透视仪等医用装置
7	监测和控制仪器	烟雾探测器、自动调温器等监视和控制工具
8	自动售卖机	自动售卖机

1.2.2 电子废物材料组成

电子废物成分复杂，废弃的电器电子产品中含有 1 000 多种物质，从整体而言可以粗略地分为金属、塑料、玻璃、陶瓷等几大类。表 1-4 给出了电子废物的主要组分。表 1-5 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 1-6 列出了重量为 30 kg 台式计算机所含的各种组分。表 1-3，表 1-4 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，金属和塑料占电子废物总重的比例较高，并且除了廉价金属外，还含有大量贵金属、稀有金属，可回收利用的潜在价值大。

表 1-4 电子废物所含的主要组分及质量比

组分	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
其他	5.00
总计	100.00

表 1-5 电视机、冰箱、空调、洗衣机所含的主要组分及重量百分比

组分	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	—	—	—
其他	5	3	10	4
总计	100	100	100	100

表 1-6 台式计算机所含的主要物质及重量百分比

名称	重量百分比/%	重量/g	名称	重量百分比/%	重量/g
塑料	22.990 7	6 265.2	铈	0.000 2	<45.4
铅	6.298 8	1 725.2	钛	0.015 7	<45.4
铝	14.172 3	3 859	钕	0.001 6	<45.4
锆	0.001 6	<45.4	钴	0.015 7	<45.4
镓	0.001 3	<45.4	钇	0.000 3	<45.4
铁	20.471 2	5 584.2	锰	0.031 5	<45.4
锡	1.007 8	272.4	银	0.018 9	<45.4

名称	重量百分比/%	重量/g	名称	重量百分比/%	重量/g
铜	6.928 7	1 906.8	铋	0.009 4	<45.4
钡	0.031 5	<45.4	铊	0.006 3	<45.4
镍	0.850 3	231.54	铬	0.006 3	<45.4
锌	2.204 6	599.28	镉	0.009 4	<45.4
钽	0.015 7	<45.4	硒	0.001 6	0.435 84
铟	0.001 6	<45.4	铈	0.000 2	<45.4
钒	0.000 2	<45.4	钇	0.000 2	<45.4
铊	0	0	汞	0.002 2	<45.4
铍	0.015 7	<45.4	砷	0.001 3	<45.4
金	0.001 6	<45.4	硅	24.880 3	6 810

由于实验所用电路板的来源不完全相同,印刷电路板中的主要组成部分和元素组成比例在不同的文献报道中结果会稍有出入,但总体相差不大。从表 1-7 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。1 t 金矿石中含有超过 2 g 黄金就具有开采价值了,而 1 t 废弃电路板中 99.999%含量的黄金达 80~1 500 g,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。

表 1-7 印刷电路板的主要组成

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

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。

除废弃电路板外，废锂离子电池同样是电子废物中资源化价值较高的一类废物。锂离子电池富含大量的有价金属，其中以钴的提取价值为最大。目前最常用的以 LiCoO_2 为正极材料的锂离子电池中含有钴酸锂、六氟磷酸锂、有机碳酸酯、碳素材料、铜、铝等化学物质，其中各种金属含量：钴 15%、铜 14%、铝 4.7%、铁 25%、锂 0.1%。一只重约 40 g 的锂离子电池，含金属钴约 6 g，1 亿只锂离子电池回收钴量可达 600 t。

钴是资源稀少、价格较贵的金属，大多伴生于铜矿、镍矿中，且品位较低。我国每年钴的需求量为 600~800 t，其中 60% 以上需要进口。锂离子电池中钴的回收对于缓解我国钴资源需求压力、支持我国经济建设具有极其重要的意义。

1.3 电子废物的环境影响

1.3.1 电子废物的危害特性

电子废物具有很高的资源化属性，但同样也具有污染环境特性。电子废物中含有的很多元素都具有环境风险性，例如元素铅、镉、汞、铬、钡、铍等，其毒害性如表 1-9 所示。铅在电子废物中主要存在于阴极射线管的玻璃、印刷电路板中的焊料及其他组件中；镉主要用在电池、表面贴装器件（SMD）芯片电阻、远红外探测器和半导体器件中，镉也是一种塑料稳定剂，一些比较陈旧的图像管中也含有镉。汞主要存在于自动调温器、感应器、继电器、开关、印刷线路、测量仪器、灯、手机以及电池中。平板

显示器材料中通常使用金属汞，由于技术的发展，平板显示器已逐渐替代阳极射线管并得以普及，汞在显示器中的含量将会有所增加；铬通常使用在未经处理的镀锌电镀钢板中当作装饰或硬化剂用于防止腐蚀；聚氯乙烯材料（PVC）主要在电缆、电器外壳中使用；钡被用在计算机显像管的前面嵌板中，保护使用者免于射线照射；铍的属性使其适合于许多工业中使用，在计算机中，铍经常以铜铍合金的形式被用在主板和“芯片槽”上，用于在保证良好导电的同时具有很高的强度；荧光体是一种被应用在显像管阴极射线管荧屏内部的无机混合物涂层。

表 1-8 给出了电子废物中所包含的主要危险元素和有害物质的分布，表 1-9 和表 1-10 则分别给出了危险元素的危害特性及其在电子产品中使用的限制。

表 1-8 电子废物中所含主要的危险元素

危险元素	电子废物	有害物质	电子废物
铅	显示器中的锥玻璃、线路板中的焊料和其他电子组分	含有 CFC、HCFC 或 HFC 的冷媒	电冰箱、空调中的制冷剂
镉	半导体、SMD 芯片电阻和紫外线探测器、电线电缆	发泡剂	电冰箱中的含发泡剂的聚氨酯
汞	显示器中的平板玻璃、磁盘驱动器、印刷线路板、电池、液晶显示器灯管	氨制冷剂	电冰箱、空调中的制冷剂
六价铬	电池和开关 用做镀锌钢片的防蚀和钢架的硬化	二氧化硫	电冰箱中制冷剂
钡	显示器面板	多氯联苯	废弃的电容器、电压器
荧光粉	电视机面板玻璃表面	压缩机油	空调和电冰箱的制冷系统
溴化阻燃剂	印刷线路板、电线、连接器等		

表 1-9 电子废物中所含主要危险元素的危害特性

危险元素	危害特性
铅	铅的有害性已经被非常明确地辨别和认知。铅会伤害人的中央和周边神经系统、血液系统、肾和生殖系统。铅还被发现会对内分泌系统有害，并被证明确实会对婴儿的脑发育产生不良影响。铅可以在环境中累积并且对植物、动物和微生物造成急性的和慢性的影响
镉	镉具有毒性且对人类的健康产生不可逆的影响，会在人类的身体中累积，特别是肾，镉是致癌物质
汞	汞能造成包括脑、肾在内各种不同的器官的伤害，并会危害胎儿。最重要的是，发育中的胎儿极易受到汞对母亲暴露的影响。当无机汞在水中散布时，它被转换成甲基汞混入水底部的沉淀物中。甲基汞很容易通过食物链在生物体中特别是鱼体内累积
六价铬	六价铬容易通过细胞薄膜后被吸收，在污染的细胞中产生各种不同的有毒影响。六价铬能对 DNA 造成伤害，在环境中是极其有毒的
塑料（包括 PVC）	如同许多其他的含氯化合物，当 PVC 在某温度范围内燃烧时，可形成二噁英类物质
溴化物阻燃剂（BFRs）	溴化物阻燃剂在电子仪器塑料的外壳中和线路板中被使用，以避免燃烧
钡	研究显示对钡的短期暴露有引起脑增大，肌肉弱化，对心、肝脏和脾的伤害
铍	铍是一种灰色、轻而坚硬的金属，它是电和热的良导体，而且是非磁性。铍最近被归类为人类致癌物质。对它的暴露能引起肺癌。主要的健康问题是铍灰尘，臭气或雾的吸入
荧光体及其他物质	荧光体影响监视器中被看到的图像的解析度和亮度。荧光体涂料包含重金属，例如镉和其他稀有金属元素，如锌、钒等。这些金属涂层和它们的化合物都极度有毒，对于用手工的方法拆解显像管的人是极端危险的

表 1-10 电子产品中的限用物质

限用物质	机械部分	控制系统部分	包装部分
铅：二氧化铅、三氧化二铅、硫化铅、硫酸铅、铬酸铅、硝酸铅、硅酸铅、醋酸铅、碱式碳酸铅、二盐基磷酸铅、三盐基硫酸铅等	有铅玻璃，易切削钢，青铜铸件阀门和压力阀门，防锈涂料，金属覆盖物中的光亮剂和稳定剂	接点、温度开关等、温度熔丝、热敏电阻的封装、棱镜和灯泡、射线屏蔽、电介质玻璃、有铅玻璃、某些气体放电灯、电子陶瓷元件、电源线的包覆层、填料、电容器、二极管和振荡器、锰干电池、铅酸蓄电池、电动机电刷、银焊膏、灯泡电极、电子封装部分等	PVC 塑料、有铅玻璃、树脂涂料、防锈涂料以及油墨
汞：甲基汞、游离态汞	涂料、颜料等	涂料、颜料、液晶背光、启动元件、汞开关、抗震传感器、激光模块等	涂料或颜料
镉：硝酸镉四水合物、氯化镉无水物、硫酸镉、氧化镉、磷酸镉、溴化镉、硫氰酸镉等	磁头中氧化镉玻璃；玻璃透镜用氧化镉玻璃、镉电镀、太阳能电池和其他光敏器件、传动皮带、镀锌材料、结合用玻璃、树脂稳定剂、颜料涂料粉、荧光显示剂、铜管套焊剂等	镉电镀、颜料、接点、焊锡或熔丝、塑料的热稳定剂、开关、继电器、恒温器、传动皮带；防震海绵；镀镍层；镀锌材料；光敏器件、光传感器、气体传感器、铜管套焊剂等	颜料，塑胶的热稳定剂；防震海绵、树脂稳定剂、涂料以及各种塑胶的稳定剂和色彩鲜艳的显色材料
六价铬：铬(VI)酸钡、三氧化铬、铬(VI)酸锌、铬酸镉、铬酸铅、重铬酸化合物等	电镀锌金属表面的防腐层、螺丝、垫圈、螺母、电磁防护罩、铝压铸件、PCM 钢板、镀锌钢板、金属电镀的塑料等	电镀锌金属表面的防腐层、螺丝、垫圈、螺母、电磁防护罩、铝压铸件、PCM 钢板、镀锌钢板、金属电镀的塑料等	彩色预涂彩板(PCM)钢板和镀锌钢板的钝化处理，金属电镀的塑料等