

废旧家电 资源化技术

FEIJIU
JIADIAN
ZIYUANHUA
JISHU



周全法 主编

程洁红 陈 娴 副主编



化学工业出版社

废旧家电 资源化技术

FEIJIU
JIADIAN
ZIYUANHUA
JISHU

周全法 主编

程洁红 陈 娴 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

我国已成为家用电器的生产大国和世界家电的制造业基地，同时也正在成为废弃物产生大国。废旧家电中含有大量有色金属、黑色金属、高分子材料和无机非金属材料，不仅占用大量宝贵资源，而且对其不合理的处置和回收还会给环境造成极大污染。笔者对我国和世界发达国家的废旧家电回收管理体系、废旧家电的资源性和资源化技术、典型模块化处理工艺、废旧家电中贵金属的回收和深加工、废旧家电中材料分析技术和二次污染减控技术等进行了较为系统的研究，将有关研究成果编著成书，期望能够对我国废旧家电再生利用产业有所裨益。

本书可以供广大从事家电生产部门、科研部门及回收行业相关人员参考，也可以作为资源循环利用与环境保护领域工程技术人员参考用书，还可作为该领域在校师生的教学与科研用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

废旧家电资源化技术/周全法主编. —北京: 化学工业出版社, 2012. 8
ISBN 978-7-122-14817-9

I. ①废… II. ①周… III. ①日用电气器具-废物回收-研究 IV. ①X76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 154011 号

责任编辑: 朱 彤
责任校对: 顾淑云

文字编辑: 杨欣欣
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 23 字数 601 千字 2012 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 88.00 元

版权所有 违者必究

编写人员名单

主 编	周全法			
副 主 编	程洁红	陈 嫻		
参编人员	朱炳龙	高 永	王 琪	
	张锁荣	贺沁婷		
	毕承路	尚通明		

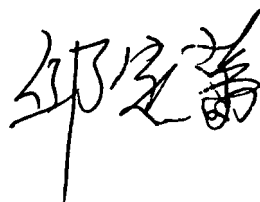
序

20 世纪诞生并得到飞速发展的电子信息产业，对人们的时空观念产生了巨大影响。人们在享受以家用电器为代表的电子信息产业科技进步成果的同时，不得不面临家用电器生命周期结束后的难题：如何处理处置这些废旧家电。

废旧家电的基本属性是资源性和污染性。家用电器生产过程所用的各类材料，包括有色金属及其相关材料、树脂等高分子材料、钢铁等黑色金属材料等，凝结着人类的大量劳动，消耗了大量资源。这些物质在家电报废前后的材料属性并没有发生太大的变化，变化的只是材料的使用属性，包括光电磁性能、材料的外观和人们的感观。正是基于这一点，在废旧家电报废以后，人们都在设法利用和回收这些有价值材料，这对于促进资源循环利用非常必要。但是，如何以环境友好的方式回收利用废旧家电中的有价值材料，却成为一个世界性难题。因为制造家用电器中的电子元器件或部件所用的材料种类从几十种到上千种不等，其中约一半以上对人体健康和周围环境有害，如电路板中的铅、镉等重金属和溴化阻燃剂，显示器阴极射线管中的氧化铅和镉，纯平显示器中的汞，电池中的镉，电容和转换器中的多氯联苯，电冰箱的制冷剂和发泡剂等。人们在资源化利用废旧家电相关材料时，如果不能采用科学合理的工艺技术和相关装备，有色金属等宝贵资源的利用率将很低，同时将产生严重的二次污染，这是废旧家电污染性的真正所在。因此，从保护资源和环境角度看，在相关再生利用工艺和技术尚未满足废旧家电资源化利用和无害化处置的要求前，将废旧家电妥善存放不失为一种很好的处理处置方式。

但是，全球资源的短缺使人们不得不考虑充分利用包括废旧家电在内的二次资源。这是一个复杂的系统工程，涉及废旧家电回收和管理体系建设问题、废旧家电拆解分类和材料深加工的科技和工艺问题、相关专用装备的设计制造和使用问题、回收利用企业的准入条件问题、生产者责任延伸制问题和处理处置国际化问题等。我欣慰地看到，我国许多年轻学者已经行动起来，在废旧家电等二次资源的无害化处置和资源化利用领域积极开展研究工作，这本《废旧家电资源化技术》就是成果之一。该著作是江苏技术师范学院和江苏省电子废弃物资源循环工程中心周全法教授课题组为配合国务院《废弃电器电子产品回收处理管理条例》的出台和实施，由多年的研究成果汇集而成，对我国和世界发达国家的废旧家电回收管理体系、废旧家电的资源性和资源化技术、典型模块化处理工艺、废旧家电中贵金属的回收和深加工、废旧家电中材料分析技术和二次污染减控技术等进行了较为详细的介绍。我相信该著作能够对我国废旧家电再生利用行业的发展和科技进步起到一定的作用，对同行有所裨益。

中国工程院院士



2012 年 5 月

前 言

家用电器生产行业是电子信息产业的重要组成部分。家用电器作为电子信息产业的物化形态，正以惊人的速度增加。大量生产和大量消费之后必然带来大量废弃。据统计，我国仅电视机、洗衣机、电冰箱、空调器、计算机等数大类家用电器的年报废量已经超过 1.5 亿台。各类电子废弃物每年产生量高达 820 万吨，且以每年 3%~5% 的速率增长。

家电生产凝结了大量的人类劳动和物质资源，废旧家电中含有大量的有色金属、黑色金属、高分子材料和无机非金属材料，对其进行回收利用，是发展的必然趋势。但是，废旧家电以及家电生产过程产生的电子废弃物，在高效率资源化利用之前，需要解决若干问题。

一是废旧家电和其他电子废弃物的回收管理体系建设问题，即如何报废、由谁收集、交给谁拆解分类。为此，从进一步促进和扩大消费需求、提高资源和能源利用效率、减少环境污染、促进节能减排和循环经济发展的角度，国务院于 2008 年 8 月 20 日公布了《废弃电器电子产品回收处理管理条例》，自 2011 年 1 月 1 日起施行。财政部、商务部、发改委、工业和信息化部、环境保护部、工商总局和质检总局于 2009 年 6 月和 2010 年 6 月，分别制定公布了《家电以旧换新实施办法》和《家电以旧换新实施办法（修订稿）》。上述条例和办法较好地解决了我国废旧家电的收集体系、拆解分类企业准入条件等问题，为规范废旧家电回收处理产业提供了法律和政策依据。

二是废旧家电回收处理的科技问题，主要包括废旧家电等二次资源的理化性质、湿法和火法处理工艺及其集成、二次污染的减控、全组分利用、高值化利用等问题。目前，国内外在上述领域的研究工作还刚刚起步，许多问题还没有完全搞清楚。因此，加大废旧家电等电子废弃物处理处置的科学研究和技术开发，对于落实国务院《废弃电器电子产品回收处理管理条例》，推动循环经济的发展具有重要意义。

三是废旧家电资源化利用和无害化处置的装备问题，即用什么样的设备和工具进行废旧家电的拆解分类和深加工。我国在废旧家电处理处置领域的专用装备设计、制造和使用方面尚处于落后状态，资源化利用率低，二次污染严重。根本原因在于处理处置工艺相对落后，国民环保意识薄弱，处理处置企业在再生有色金属高利润诱惑下，在环保方面投入反而不足。

为了配合国家相关政策的出台和实施，本着为电子废弃物处理处置行业的发展提供科技支撑的意愿，笔者在总结“江苏省电子废弃物利用与处置企业准入条件研究（傅江、程洁红、陈炳和周全法等，2007 年）”、“国家科技支撑计划项目——废线路板全组分高值化清洁利用关键技术和示范（周全法、尚通明、张锁荣、朱炳龙等，2008 年）”等项目研究成果的基础上，对我国和世界发达国家的废旧家电回收管理体系、废旧家电的资源性和资源化技术、典型模块化处理工艺、废旧家电中贵金属的回收和深加工、废旧家电中材料分析技术和二次污染减控技术等进行了较为系统的研究，将有关研究成果编著成书，期望能够对我国废旧家电再生利用产业有所裨益。但由于废旧家电的处理处置是广泛涉及电子、信息、材料、机械、环境等各方面知识的系统工程，限于笔者的专业 and 知识结构，许多问题仍有待进一步探讨。本书若能起到抛砖引玉的作用，引起全社会对废旧家电回收利用以及保护资源和环境的重视，我们将感到非常欣慰，这也是我们编著此书的初衷。

全书共分成 7 章。其中第 1 章由朱炳龙、张锁荣和周全法等完成，第 2 章由高永、程洁红、周全法和贺沁婷等完成，第 3 章由程洁红、陈娴、张锁荣等完成，第 4 章由周全法、毕承路和尚通明等完成，第 5 章由王琪完成，第 6 章由高永和周全法等完成，第 7 章由陈娴和程洁红等完成。全书由周全法和程洁红统稿。

在本书编著过程中，中国再生资源产业技术创新战略联盟、中国有色金属工业协会再生金属分会、江苏省固体有害废物登记和管理中心、江苏技术师范学院等有关部门对相关课题的研究和本书的出版给予了大力支持和帮助，中国工程院邱定蕃院士对本书的编写提供了不少好的建议并欣然为本书出版作序，化学工业出版社也为本书的顺利出版付出辛勤劳动。在此，谨向各位关心支持本书出版和废旧家电资源化利用事业的各位同仁表示衷心感谢！

因编者水平和时间有限，书中难免有疏漏之处，恳请广大读者批评、指正。

编著者

2012 年 5 月

目 录

第 1 章 废旧家电的资源性	1
1.1 废旧家电处理处置现状	1
1.1.1 来源	1
1.1.2 流向	1
1.1.3 收集	2
1.1.4 重复使用	2
1.1.5 再生利用	2
1.2 我国废旧家电管理体制	3
1.2.1 法律法规体系建设	3
1.2.2 试点及示范项目	4
1.3 废旧家电回收的必要性	4
1.3.1 保护环境和生态所需	5
1.3.2 节约资源所需	7
1.3.3 生产者责任延伸制和国际贸易所需	8
1.4 废旧家电中的有价值材料	11
1.4.1 高分子材料	12
1.4.2 贵金属材料	14
1.4.3 其他有色金属材料	31
第 2 章 废旧家电资源化技术	36
2.1 废旧家电拆解分类原则	36
2.1.1 拆解目标	36
2.1.2 拆解原则	36
2.1.3 拆解经济性	37
2.2 常见废旧家电的拆解	37
2.2.1 废计算机拆解	37
2.2.2 洗衣机拆解	44
2.2.3 电冰箱拆解	48
2.2.4 空调拆解	54
2.2.5 电视机拆解	55
2.3 废旧家电机械法分离技术	57
2.3.1 破碎技术	58
2.3.2 分选技术	63
2.3.3 机械法回收应用实例	70
2.4 废旧家电回收火法冶金技术	71
2.4.1 焚烧法	72
2.4.2 热解法	82
2.5 废旧家电回收湿法冶金技术	85
2.5.1 湿法冶金的主要步骤	86
2.5.2 浸取法	86
2.5.3 电解沉积法	89
2.5.4 有机溶剂萃取法	90

2.5.5	离子交换法	90
2.6	废旧家电回收生物处理技术	90
2.6.1	微生物浸取回收废旧家电贵金属	91
2.6.2	废旧家电生物浸取贵金属所用微生物	91
2.6.3	微生物浸出电子废弃物的影响因素	92
2.7	从电子废弃物中回收金属的各种技术的比较分析	92
2.8	废旧家电资源化集成技术	93
第3章	典型模块化处理工艺	96
3.1	废电路板资源化利用工艺	96
3.1.1	国内物理法工艺	96
3.1.2	国外物理法工艺	99
3.1.3	化学处理工艺	103
3.1.4	废电路板资源化技术应用实例	107
3.2	废塑料资源化处理工艺	109
3.2.1	废旧家电塑料的成分	110
3.2.2	废旧家电塑料的处理技术	112
3.2.3	复合材料回收利用	115
3.3	废压缩机资源化处理工艺	115
3.4	废氟里昂资源化处理工艺	116
3.4.1	氟里昂的回收	116
3.4.2	氟里昂的处置	117
3.5	废电源线资源化处理工艺	117
3.5.1	废电源线的整体处理技术	117
3.5.2	废电源线中铜的循环利用	118
3.6	废显像管资源化处理工艺	120
3.7	废电冰箱箱体资源化处理工艺	121
3.8	废金属外壳资源化处理工艺	122
第4章	废旧家电中贵金属的回收和深加工	123
4.1	白银的回收	123
4.1.1	从含银废液中回收银	123
4.1.2	从镀银件中回收银	125
4.1.3	从含银废合金中回收银	126
4.1.4	银的精炼	126
4.2	黄金的回收	129
4.2.1	从含金废液中回收金	129
4.2.2	从含金固体废料中回收金	132
4.2.3	从镀金废料中回收金	135
4.2.4	金的精炼	139
4.2.5	金、银及其合金的熔铸	141
4.3	铂族金属的回收	142
4.3.1	从含铂废镀液中回收铂	142
4.3.2	从银电解废液中回收钯	142
4.3.3	从金电解废液中回收铂和钯	142
4.3.4	从含铂废合金中回收铂	143
4.3.5	从含钯废液中回收钯	145
4.3.6	从钯合金废料中回收钯	145

4.3.7	从含铍废液中回收铍	145
4.3.8	从铂铍合金中回收铍	147
4.3.9	从钯铍合金废料中回收铍、钯	149
4.3.10	从含铈的残渣中回收铈	151
4.4	铂族金属的精炼	152
4.4.1	铂族金属与贱金属的分离	152
4.4.2	铂族金属的相互分离	157
4.5	单个铂族金属的精炼	163
4.5.1	铂精炼	163
4.5.2	钯精炼	164
4.5.3	钌精炼	166
4.5.4	铑精炼	167
4.5.5	铱精炼	168
4.6	铂族金属及其合金的熔铸	169
4.7	典型贵金属电子化学品的生产	170
4.7.1	含银电子化学品	170
4.7.2	含金电子化学品	186
4.7.3	铂族金属电子化学品	194
第5章	废旧家电材料分析方法	210
5.1	常见金属分析方法	210
5.1.1	样品的预处理	210
5.1.2	金的分析	213
5.1.3	银的分析	215
5.1.4	铂的分析	218
5.1.5	钯的测定	219
5.1.6	铜的测定	220
5.1.7	锡的测定	225
5.1.8	铅的测定	229
5.1.9	铬的测定	232
5.1.10	镉的测定	235
5.1.11	汞的测定(硫氰酸钾容量法)	236
5.1.12	钛的分析	237
5.1.13	镍的分析	238
5.2	常见高分子材料分析方法	240
5.2.1	塑料的鉴别	241
5.2.2	聚合物分子量的测定——黏度法	244
5.2.3	树脂黏度测定	245
5.3	废旧家电材料分析实验室配置	246
5.3.1	材料分析实验室的建筑与设施	246
5.3.2	分析实验室的布置	248
5.3.3	分析实验室的筹建	249
5.3.4	分析测试质量控制	264
5.3.5	实验室安全知识	267
5.3.6	实验室化学药品管理	269
5.3.7	实验室常见中毒及防护	269
5.3.8	实验室用气要求	270
5.3.9	实验室用电要求	270

5.3.10	实验室灭火常识	271
5.3.11	分析检测中的环境保护	271
第6章	废旧家电回收污染治理	273
6.1	废旧家电回收利用废气治理	273
6.1.1	废气污染物种类	273
6.1.2	废气治理方法	274
6.1.3	焚烧过程废气治理实例	278
6.1.4	铸锭过程废气治理实例	280
6.2	废旧家电回收利用废水治理	282
6.2.1	酸碱废水的治理	282
6.2.2	重金属废水的治理	284
6.2.3	氰化废水的治理	296
6.2.4	有机废水的治理	301
6.3	废旧家电回收利用废渣治理	302
6.3.1	填埋处置	302
6.3.2	堆肥处置	302
6.3.3	焚烧处置	303
6.3.4	资源化处置	303
第7章	废旧家电回收管理体系	304
7.1	废旧家电管理依据	304
7.1.1	产品生命周期理论	304
7.1.2	循环经济理论	306
7.1.3	生产者责任延伸制度	308
7.2	废旧家电管理体系制定原则	310
7.2.1	全过程管理原则	310
7.2.2	减量化、资源化和无害化原则	312
7.2.3	谁受益谁负责原则	314
7.3	促进废旧家电资源化基本原则	314
7.4	我国废旧家电管理体系	315
7.4.1	我国废旧家电管理控制系统	315
7.4.2	我国废旧家电管理制度系统	324
7.4.3	我国废旧家电管理扶持系统	331
7.4.4	电子废物处置利用企业准入条件	336
7.4.5	收集和处置区域试点情况	336
7.4.6	处理处置工艺和技术开发	339
7.4.7	存在问题	340
7.5	国外废旧家电管理体系	341
7.5.1	国外废旧家电管理概况	341
7.5.2	废旧家电管理体系分析比较	348
7.6	废旧家电回收管理体系的发展趋势	351
7.6.1	构建规范废旧家电回收体系	351
7.6.2	建设规模化的处理处置生产体系	351
7.6.3	形成适合国情的技术支撑体系	352
7.6.4	完善政府保障调控体系	352
附录	废弃电器电子产品回收处理管理条例	354
参考文献		358

第 1 章 废旧家电的资源性

随着中国高新技术产业的迅猛发展和人民生活水平的迅速提高，家用电器正在以惊人的速度增加，我国已经成为世界上最大的家用电器的生产和消费大国。大量生产和大量消费之后必然带来大量废弃。据中国家用电器协会统计，仅电视机、洗衣机、电冰箱、空调、计算机等五大类家用电器的年报废量已经超过 1.5 亿台。各类电子废弃物每年产生量高达 820 万吨，且以每年 3%~5% 的速率增长，比普通城镇固体废弃物增长率快 3 倍，已成为增长速度最快的垃圾之一。家电生产凝结了大量的人类劳动和物质资源，废旧家电中含有大量的有色金属、黑色金属、高分子材料和无机非金属材料，被称为“城市矿山”、“城市矿产”和“放错了地方的宝贵资源”。

为进一步促进扩大消费需求，提高资源和能源利用效率，减少环境污染，促进节能减排和循环经济发展，2008 年 8 月 20 日，国务院公布《废弃电器电子产品回收处理管理条例》，自 2011 年 1 月 1 日起施行。根据《国务院办公厅关于转发发改委等部门促进扩大内需鼓励汽车家电以旧换新实施方案的通知》（国办发〔2009〕44 号），2009 年 6 月 28 日，财政部、商务部、发改委、工业和信息化部、环境保护部、工商总局、质检总局制定了《家电以旧换新实施办法》，2010 年 6 月 21 日出台了《家电以旧换新实施办法（修订稿）》。上述办法以及促进“家电下乡”等一系列新政策的出台，为废旧家电回收处理产业的发展提供了千载难逢的机遇和废旧家电来源，也为废旧家电回收处理科技的进步提供了动力。

1.1 废旧家电处理处置现状

1.1.1 来源

我国面临着废旧家电及其拆解物的双重压力。一方面是国内废旧家电增长迅速。废旧家电及其拆解物国内来源主要有三个方面，即居民日常生活中所产生的废旧家电及其配件、企事业单位和政府部门产生的以计算机及其外设为主的电子废弃物、电子电器产品生产商生产过程中所产生的废品。另一方面是国外废旧家电及其拆解物的非法进口。据调查，“洋垃圾”大多流入浙江台州和广东潮汕地区，又以广东省贵屿镇为最大的废旧家电及其拆解物流入地。目前，“洋垃圾”问题已经扩散到山东、河北等地。虽然我国已经禁止进口废旧家电等电子废弃物，但由于废旧家电及其拆解物原材料成本低、我国劳动力成本低和拆解后产品价格高这“两低一高”的特点，因此还有很多企业通过非法渠道进口大量电子电器废物。据统计全世界每年会产生 5 亿多吨电子垃圾，其中 70% 以上被转移到中国。仅在贵屿和汕头两地，就有 30000~40000 人从事废旧家电及其拆解物的处理工作，每年处理量高达 100 万吨。

1.1.2 流向

我国废旧家电及其拆解物的流向主要有四个方面：被废旧家电及其拆解物所有者暂时贮存；被回收处理厂再生利用；整机或零部件进入二手市场再使用；被丢弃至垃圾箱进入垃圾处理厂。由于我国废旧家电及其拆解物的回收处理活动多为自发行为，国内废旧家电及其拆解物的流向无具体统计数据。图 1-1 为调查所得的北京市废旧家电及其拆解物流向系统，该图能较好地反映我国废旧家电及其拆解物处理现状。在电子产品达到使用寿命后，多数被消

费者暂时贮存在家里或办公室。这与我国的传统消费观念有关。在我国，废旧家电及其拆解物被看作是有价值的商品，因此消费者不会随意丢弃，而是待价而沽。而我国缺乏完善的回收体系也是造成废旧家电及其拆解物积存的主要原因。目前大约 90% 的废旧家电及其拆解物被走街串巷的个体收购者回收。一部分被送往回收处理厂拆解处理，回收或再使用其中的有用材料或零部件；多数废旧家电及其拆解物经过维修、升级或翻新后仍能正常运转，则进入二手市场，主要被售往贫困地区。由于二手产品相对于回收材料具有更大的价值，所以相对于再生利用，废旧家电及其拆解物被更多地再进行再使用。被丢弃的废旧家电及其拆解物则主要被填埋处置。

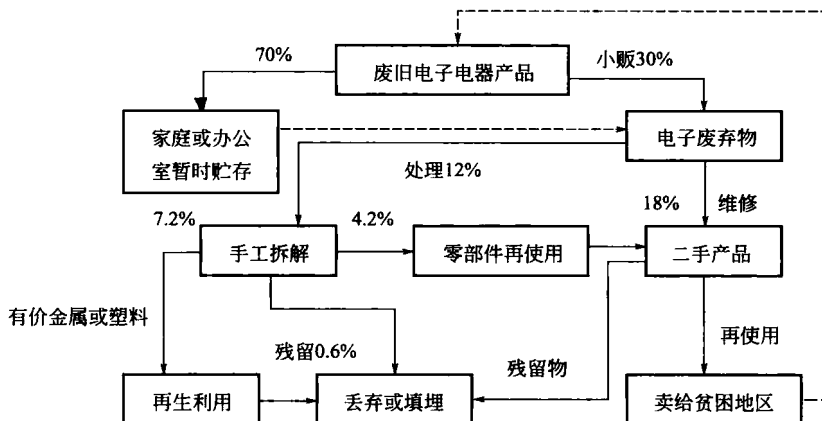


图 1-1 北京市废旧家电的流向

1.1.3 收集

目前我国废旧家电及其拆解物的收集（回收）模式是以个体商贩的流动回收为中心，少部分通过上门回收、废品收购站、商场“以旧换新”和社区回收点等形式收集。由于缺乏专门管理，导致大部分回收的产品流向二手市场、农村及落后地区 and 小型废旧家电及其拆解物处理企业。而正规的废旧家电及其拆解物处理厂家由于不能得到充足的原料，难以产生规模效益。

1.1.4 重复使用

废旧家电及其拆解物的重复使用（再使用）能延长产品的使用寿命，也是我国废旧家电及其拆解物循环利用的主要形式。虽然再使用过程对环境的污染较小，但由于再使用的电子产品使用寿命短，会很快在农村等难以进行收集和处理的地区变成废物，从而造成更大的危害。同时以旧充新、以次充好的现象也充斥着二手产品市场，存在严重的安全隐患。目前，我国第一部关于二手家电的国家标准《二手（旧）电子电器品质技术要求》已经进入审定阶段，不久将会出台，这将有效地规范我国电子产品的二手市场。

1.1.5 再生利用

受废旧家电及其拆解物有价资源的利益驱动，废旧家电及其拆解物回收处理企业快速崛起。目前，国内废旧家电及其拆解物回收处理企业根据原料来源主要有两种类型。

一是进口废旧家电及其拆解物的回收处理。截至 2012 年，共有 593 家以进口废电机、废电线电缆、废五金电器（海关进口目录：第七类废弃物）为主的拆解回收企业注册。主要分布在东部沿海地区，并形成了天津、浙江和广东三个地域性的回收处理中心。在贵屿、台州等地则主要回收处理非法进口的废旧家电及其拆解物。由于普遍采用原始处理工艺，有毒

重金属（如 Pb、Cr、Cd 等）和持续性有机污染物对当地大气、水体、土壤、沉积物等环境介质以及人体健康造成了严重危害。

二是国内废旧家电及其拆解物的回收处理。目前已有许多企业领取了“危险废物经营许可证”，这类企业按照《危险废物经营许可证管理办法》的相关要求从事废旧家电及其拆解物的收集、贮存、处置，一般作过环境评价，相对规范。江苏省领取许可证的废旧家电及其拆解物回收处理企业有 74 家，以废电路板为主要经营品种，主要集中在经济发达地区。家庭作坊式的回收处理仍是我国目前比较普遍的处理模式。这类企业规模小、技术水平低、环保投入少，通常采用手工或简单工具进行拆解，并使用破坏性处理工艺（如传统的酸浸、露天焚烧），仅回收废旧家电及其拆解物中的有价金属，而不考虑处理过程中的二次污染对生态环境和人体健康的影响，因此相对于正规企业，其回收处理成本低。这也直接导致了污染严重的非正规小企业占领了主要市场，而技术先进、环保水平高的大企业则处于“吃不饱”甚至是亏损的尴尬局面。目前，保护正规废旧家电及其拆解物回收企业的有关法规和政策在我国还处于起步甚至空白阶段。日前，江苏省正积极开展废旧家电及其拆解物处置利用企业准入条件研究，并出台了废电路板、含重金属污泥和蚀刻废液处置利用企业的准入条件，这对保障废旧家电及其拆解物资源化综合利用行业的健康和可持续发展具有重要意义。

1.2 我国废旧家电管理体制

1.2.1 法律法规体系建设

针对我国电子废弃物回收监管体系薄弱、相应法规不健全的问题，通过制定相关法律法规和政策，电子废弃物循环利用及其产业发展将逐步纳入法制化管理的轨道。表 1-1 列出了我国涉及电子废弃物处理处置的相关法律法规。根据最新的国家危险废物名录，电子废弃物已被列为危险废物，因此我国所有适用于危险废物的法律法规也适用于电子废弃物。

表 1-1 我国电子废弃物管理相关法律法规

法律法规	相关内容	施行时间
限制进口类可用于原料的废物目录(第一批)	限制废五金电器、电机、电线、电缆的进口	2002 年 1 月 1 日
禁止进口货物目录(第二批、第五批)	禁止废旧机电产品的进口	2002 年 1 月 1 日(第二批); 2002 年 8 月 15 日(第五批)
废电池污染防治技术政策	废电池处理处置全过程污染防治技术	2003 年 10 月 9 日
废弃机电产品集中拆解利用处置区环境保护技术规范(试行)	废弃机电产品集中拆解利用处置区的规划、建设及运行的污染防治和环境保护管理	2005 年 9 月 1 日
废弃家用电器与电子产品污染防治技术政策	家用电器与电子产品的环境设计、废弃产品处理处置全过程的环境污染防治	2006 年 4 月 27 日
电子信息产品污染控制管理办法	电子信息产品的设计、生产、销售和进口限制使用有毒有害物质或元素	2007 年 3 月 1 日
再生资源回收管理办法	从事再生资源回收经营活动的企业和个体工商户的经营规则及相应的监督管理	2007 年 5 月 1 日
电子废弃物污染环境防治管理办法	电子废弃物拆解、利用、处置的环境管理及相关方责任的确定	2008 年 2 月 1 日
家用和类似用途电器的安全使用年限和再生利用通则	家用和类似用途电器安全使用年限、再生利用的要求以及标志	2008 年 5 月 1 日
中华人民共和国循环经济促进法	废物的减量化、再利用和资源化	2009 年 1 月 1 日

续表

法律法规	相关内容	施行时间
废弃电器电子产品回收处理管理条例	废弃电器电子产品回收处理相关方责任确定(生产者责任制);处理企业的资格认定	2011年1月1日
废家用电器处理与利用污染控制技术规范	废家用电器(电视机、电冰箱、空调、洗衣机)处理处置全过程污染控制技术要求	(征求意见稿)
废电子电器产品处理污染控制技术规范	电子废弃物处理处置全过程污染控制技术要求	(征求意见稿)

我国电子废弃物的管理从最初的无法可依，到现在众多法规的“一拥而上”，既体现了国家对电子废弃物回收的重视，也暴露了管理体制的不健全。例如，政出多门，难以协调；相关方责任不明确；无具体回收目标；无专项资金、资格认定等配套措施；多为原则性、指导性规定，可操作性较差。

1.2.2 试点及示范项目

为了推动我国电子废弃物回收体系的建设，2003年12月，国家发改委确定了浙江省、青岛市为国家废旧家电回收处理试点省、市，同时将北京市、天津市废旧家电示范工程一起纳入了第一批节能、节水、资源综合利用项目国债投资计划。

浙江省遵循定点回收、集中处置和生产者责任制的原则，提出了建立覆盖全省的回收网点。该试点由专门的回收处理企业（杭州大地环保有限公司）承担，初步建立了年处理能力7000t的处理设施，建立了家电销售商、社区回收站、企事业单位和家电制造商四条回收渠道，36个回收处理站。为了保证二手家电的安全使用，浙江省颁布了《再利用家电安全性能技术要求》（DB 33/566—2005）用于二手家电的管理。

青岛市则以集中回收处理为原则，建立覆盖全市的回收网点。该试点由家电生产企业（海尔集团）承担，达到规模化拆解60万台/年。其回收渠道包括：与企事业单位、家电生产企业和家电连锁商场等签订回收协议，建立稳定回收渠道；设置回收站点，开通回收服务热线和网站；委托个体从业者加盟回收；构建政府支持的社会化回收站点。并积极探索采用以网络信息系统为平台，“五联单”回收并采集基本信息的运行模式。

此外，北京、天津的废旧家电回收利用示范工程也正在积极推进中，已进入试运行阶段。但是这些项目均面临着回收困难的尴尬局面。例如，2004年，青岛试点项目回收中心仅收集到不足1000台家电，而浙江大地回收中心仅收集到50多吨的废电子电器。其关键障碍在于过高的回收成本。海尔集团表示，环境友好的先进处理设备已经占了一半左右的回收成本，如果企业支付更多的回收费用将造成上千万的损失。

1.3 废旧家电回收的必要性

废旧家电作为一种社会性来源的废弃物，主要产生于三种淘汰过程：一是耐久性淘汰，即因长期使用，达到或超过使用寿命而造成的报废；二是功能性淘汰，即用功能更好的新产品取代原有产品而造成的淘汰；三是时尚性淘汰，即消费者因消费品位的变化而选择另一种新产品，造成原使用产品被淘汰。正是由于消费观念的转变和国民收入的增加，人们往往选择购买新产品来淘汰家里的旧货，而不是把它们送到维修点修理和维护，许多远未达到实际使用寿命的产品被淘汰，由此也导致废旧家电数量剧增。

废旧家电有两个相互依存的属性，即资源性和污染性。一方面是废旧家电中含有大量有价值的材料，材料属性与报废或淘汰之前没有很大的差别；另一方面是废旧家电的随意丢弃

或不当处理处置，将会造成严重的环境污染。如何解决废旧家电资源性和污染性之间的矛盾，对废旧家电进行科学合理的处理处置，已经成为一个亟待解决的社会问题。

1.3.1 保护环境和生态所需

废旧家电是一类特殊的固体废弃物，对人类健康和环境的危害常常被忽视。事实上，家用电器是用各种金属及其化合物材料、树脂等高分子材料等制造的高科技产品，每一个电子元器件或部件所用的材料种类从几十种到上千种不等，其中约一半以上对人体健康和周围环境有害。如电路板中的铅、镉等重金属和溴化阻燃剂，显示器阴极射线管中的氧化铅和镉，纯平显示器中的汞，计算机电池中的镉，电容和转换器中的多氯联苯，电冰箱的制冷剂 CFC-12 和发泡剂 CFC-11 等。在废旧家电中，存在范围较大且毒害性强的成分主要有铅、镉、汞、铬、钡、含 PVC 塑料、溴化阻燃剂、油墨、磷化物及其他添加物等，表 1-2 列出了家电中对健康/环境有影响的材料。

表 1-2 家电中对健康/环境有影响的材料一览表

名称	用途/位置	健康/环境影响
铅	电视、计算机显示器、电路板及其他元件焊接物等	会损害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	SMD 电阻器，红外线发生器，半导体，阴极射线管等	会导致肺部损伤、肾脏疾病、骨骼易碎裂，极有可能是一种人类致癌物质
汞	电路板、电灯、手机、电池、纯平显示器等	会导致慢性大脑、肾脏、肺及胎儿损伤，血压升高，心率加快，可能是人类致癌物质
铬	金属镀层	会导致溃疡、痉挛、肺及肾损伤，强烈的过敏反应，哮喘、支气管炎，可能会引起 DNA 损害
钡	计算机显示器、阴极射线管、荧屏	会导致人体脑肿、肌肉无力及心脏、肝脏和脾脏损伤
含 PVC 塑料	塑料在电器设备中大量使用，PVC 约占 26%	PVC 在一定温度下燃烧产生二噁英，二噁英是致癌物质
溴化阻燃剂	塑料外壳及电路板中，降低可燃性	多溴二苯醚(PBDE)，干扰内分泌；多溴联苯基(PBBs)，增加消化和淋巴系统患癌症的风险；燃烧产生二噁英，二噁英是致癌物质
油墨	打印机	主要成分炭黑，会强烈刺激呼吸系统，2B 类致癌物
磷化物及其他添加物	CRTs 玻璃内表面，以产生磷光效应，显示图像	CRTs 磷包衣有剧毒，还含有锌、钒等添加物，拆解时会对工人产生危害
氯氟烃	冰箱制冷剂、发泡剂	破坏臭氧层

综上所述，废旧家电中含有大量的有毒有害物质，废弃后的家电如果不经处理直接进入环境，这些有毒有害物质将逐渐污染土壤、地下水和大气，或者通过植物、动物等食物链进入人体。同时，不科学不规范地处理处置废旧家电所造成的污染将更为严重，甚至远远大于废旧家电的长期贮存和自然老化所造成的污染。正因为如此，未集中的废旧家电一般不作为危险废物管理，但是如果将废旧家电集中起来进行拆解分类和材料回收，必须作为危险废物进行管理，必须实行严格的危险废物经营许可证制度。

对于废旧家电及其零配件和相关部件的处理处置方式主要有：填埋、焚烧和回收利用。以填埋和焚烧方式处理电子废弃物的成本较低，因而长期以来已经成为废旧家电拆解余物中“无回收价值”的高分子材料、玻璃及其他无机非金属材料的主要处理方式。填埋是最容易和最古老的处理固体垃圾的方法，具有以下缺点：占有土地和空间，所需的运输、堆积费用逐年提高；如不妥善处理而直接填埋，各种有毒有害物质易随渗滤液浸出而污染土壤及地下水，即使将填埋区的顶部和底部密封，也有可能泄漏，同时也意味

着被填埋物质所含有的有价值资源的全部浪费；废旧家电中的很多材料在填埋混合物中不易腐烂分解，塑料完全分解需 200 年以上，重金属能在环境中累积。因此，用填埋方式处理废旧家电中的部件是极不科学的。而焚烧虽然可部分回收利用热能用于取热或发电，但其转化成本与获得的资源价值差异巨大，除了造成废旧家电中被焚烧物质的资源浪费以外，还将产生大量有毒有害物质，如二噁英、汞蒸气、含重金属微粒、CO、HCl 气体、NO_x 等，造成严重的大气污染，同时产生大量的难以处理的焚烧废渣。废旧电视机显像管和计算机显示器属于易爆性废弃物，直接焚烧带来的危害更大。要消除或减少焚烧产生的污染需要昂贵的燃烧器和废气处理设备，代价很高。因此用简单焚烧方法处理废旧家电拆余物的经济和环境风险很大。

处理废旧家电最好的方法是进行集约化、规模化、科学化的回收利用，实现“家电——废旧家电——拆解分类——材料回收利用——再生材料和深加工产品——家电”的反复多次的物质循环。回收利用废旧家电意味着由生产、销售与消费环节产生的废旧家电，经处理后能够成为二手家电进入二手市场或变成能够用于家电生产的原料。回收利用直接有利于减少废物流的排放，虽然难以达到“零排放”，但经回收利用后所需最终处置的废物量大大减少。由此可见，废旧家电回收利用在一定程度上体现了人类物质利用过程具有循环性和封闭性特征的生态化要求，符合可持续发展和循环经济的要求。

不可否认的是，在经济利益的驱动下，大量的个体和小微企业已经成为废旧家电回收行业的主力军，尤其是家电以旧换新政策出台前，废旧家电的收集过程主要由个体商贩完成。部分个体和小微企业回收利用废旧家电的方式方法是粗放式和作坊式的，采用破碎、焚烧、简单酸浸、废液废气直接排放、二次废渣随意丢弃或填埋等手段，导致了工人和当地人群受到有毒物质侵害、当地生态环境严重恶化等一系列问题。尽管各级政府对废旧家电等电子废弃物不当处置所引发的环境问题已经给予关注和重视，但还存在着应对措施不力的问题。根据中科院《2009 年科学发展报告》中由傅家谟等 7 位院士联合撰写的《加强我国电子废弃物高污染区健康风险与调控研究》报告，我国目前的这种粗放式处理已对人群健康和环境造成严重危害。据检测，电子废弃物拆解地的重金属铅、铬、铜和锡等污染物含量超过危险污染标准的数百倍，甚至上千倍，多溴联苯醚含量比其他地方高 30 倍以上，二噁英含量比其他城市也高 37~133 倍。“贵屿现象”就是一个典型例子。广东贵屿大气中检测到的二噁英和溴代二噁英都是目前世界上报道的最高水平，其中溴代二噁英比欧美国家高出 30 多倍。根据呼吸量计算得到人体每天吸入的毒性当量值在 68.9~126 pg TEQ/(d·kg)，比世界卫生组织建议的最高值 1~4pgTEQ/(d·kg) 还高 15~56 倍。这里工人的血液内溴代阻燃剂含量非常高，特别是十溴联苯醚的含量比国外职业暴露人群高出 50~200 倍，远远高出目前人体样本的报道水平。通过对贵屿 165 名 1~6 岁儿童的血铅水平调查结果看，儿童血铅负荷高，中度铅中毒者达到 24.4%，明显高于没有遭到电子废弃物污染的邻镇儿童。贵屿镇的青年近几年来都没有合格的参军人员。统计表明，贵屿超过 80% 的儿童都患有不同程度的呼吸道疾病，88% 的外来务工人员都患有皮肤、神经系统、呼吸系统或消化系统等疾病，同时白血病也呈上升趋势。由此可见，废旧家电等电子废弃物粗放式的处理方式已使拆解地形成以重金属和 POPs（持久性有机污染物，主要是溴代阻燃剂和二噁英类剧毒物质）为主要污染特征的高暴露环境和高风险区。

尽管如此，废旧家电的回收利用还必须进行，上述问题的解决只有紧紧依靠科技进步、加强监管和提高全民环境和资源意识才能解决。我们所要做的是加快废旧家电回收处理技术的研究开发和技术集成，完善监管体系，在遵循可持续发展和循环经济的前提下，建设好具有中国特色的科学的废旧家电回收处理体系。