


废弃机电电子电器 资源化利用技术

朱 振 主 编



天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

废弃机电电子电器资源化

利用技术

朱振 主编

随着科学技术的进步和人们生活水平的提高，我国社会经济的可持续发展，因此，废弃机电电子电器的资源化利用成为科学界、工业界、环保界、政策界、法律界、教育界、媒体界、公众界等共同关注的热点问题。随着电子电器行业迅速发展，在生产和消费过程中产生了大量废弃机电电子电器。目前，国内一些企业、研究所、高等院校开展了相关的研究工作，并取得了一定的进展。就整体而言，国内的废弃机电电子电器的资源化利用技术还处于初级水平，废弃机电电子电器的资源化利用技术又是有待开发的新领域。同时，系统、完整、深入介绍废弃机电电子电器的资源化利用技术的书籍并不多见，更谈不上此领域的高素质专业人才的培养。因而，相关图书的出版已迫在眉睫。

为了促进废弃机电电子电器的资源化利用技术的进步，推动我国社会经济的可持续发展，我们编著了《废弃机电电子电器资源化利用技术》一书。本书共分10章，主要介绍了废弃机电电子电器的资源化利用技术，并参考了国内外大量的文献。本书力求做到：第一，注重实用性，力求做到理论与实践相结合，力求做到理论与实践相结合。第二，注重科学性，力求做到理论与实践相结合。第三，注重系统性，力求做到理论与实践相结合。第四，注重前瞻性，力求做到理论与实践相结合。第五，注重可操作性，力求做到理论与实践相结合。第六，注重可读性，力求做到理论与实践相结合。第七，注重可学性，力求做到理论与实践相结合。第八，注重可教性，力求做到理论与实践相结合。第九，注重可研性，力求做到理论与实践相结合。第十，注重可创性，力求做到理论与实践相结合。

本书共分10章，主要介绍了废弃机电电子电器的资源化利用技术，并参考了国内外大量的文献。本书力求做到：第一，注重实用性，力求做到理论与实践相结合。第二，注重科学性，力求做到理论与实践相结合。第三，注重系统性，力求做到理论与实践相结合。第四，注重前瞻性，力求做到理论与实践相结合。第五，注重可操作性，力求做到理论与实践相结合。第六，注重可读性，力求做到理论与实践相结合。第七，注重可学性，力求做到理论与实践相结合。第八，注重可教性，力求做到理论与实践相结合。第九，注重可研性，力求做到理论与实践相结合。第十，注重可创性，力求做到理论与实践相结合。

天津出版传媒集团

天津科学技术出版社

本书共分10章，主要介绍了废弃机电电子电器的资源化利用技术，并参考了国内外大量的文献。本书力求做到：第一，注重实用性，力求做到理论与实践相结合。第二，注重科学性，力求做到理论与实践相结合。第三，注重系统性，力求做到理论与实践相结合。第四，注重前瞻性，力求做到理论与实践相结合。第五，注重可操作性，力求做到理论与实践相结合。第六，注重可读性，力求做到理论与实践相结合。第七，注重可学性，力求做到理论与实践相结合。第八，注重可教性，力求做到理论与实践相结合。第九，注重可研性，力求做到理论与实践相结合。第十，注重可创性，力求做到理论与实践相结合。

废弃机电电子电器资源化利用技术 / 朱振主编

朱振 主编

图书在版编目(CIP)数据

废弃机电电子电器资源化利用技术 / 朱振主编. —
天津: 天津科学技术出版社, 2018. 1

ISBN 978-7-5576-4628-8

I. ①废… II. ①朱… III. ①日用电气器具—废物综合利用②电子产品—废物综合利用 IV. ①X760.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第040695号

责任编辑: 房 芳
助理编辑: 王 彤
责任印制: 王 莹

天津出版传媒集团

天津科学技术出版社出版

出版人: 蔡 颢

天津市西康路35号 邮编 300051

电话 (022) 23332397

网址: www.tjkjcs.com.cn

新华书店经销

天津午阳印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 23.625 字数 590 000

2018年1月第1版第1次印刷

定价: 98.00元

前 言

随着我国社会经济快速发展,自然资源消耗需求,以及废弃机电电子电器的数量进一步增加,影响了生态平衡且制约了我国社会经济的可持续发展。因此,废弃机电电子电器的资源化利用成为科学研究重点,是实现我国经济的可持续发展的关键。

我国废弃机电电子电器资源十分丰富,特别是随着电子电器行业迅速发展,在生产 and 消费过程中产生了大量废弃机电电子电器。目前,国内一些企业、研究所、高校已开展了相关的研究工作,并取得了一定的进展。就整体而言,国内的废弃机电电子电器资源化利用技术还处于较低水平,废弃机电电子电器资源化利用技术又是有待开发的新领域,同时,系统、完整、深入介绍废弃机电电子电器资源化利用技术的书籍并不多见,极大影响此领域的高级专业人才的培养。因而,相关图书的出版已迫在眉睫。

为了促进废弃机电电子电器资源化利用技术的进步,推动我国社会经济的可持续发展,我们编著了《废弃机电电子电器资源化利用技术》一书。本书主要以废旧电视机、废旧微波炉、废旧计算机、废旧洗衣机、废旧汽车等废弃机电电子电器为研究对象,系统介绍了废弃机电电子电器资源化利用技术,并参考了国内外大量相关书籍和期刊论文,融入近年最新研究成果,从废弃机电电子电器的结构、资源化利用技术及其设计思路等各个方面进行深入浅出的讲解,并对废弃机电电子电器资源化利用过程中的环境保护和经济效益等方面问题进行探讨,并添加一些废弃机电电子电器资源化利用的实例以达到理论联系实际的目的。具体来说,本书第一章绪论阐述了废弃机电电子电器资源化利用的现状、发展趋势等基本情况。第二章介绍了常见机电电子电器组成和结构。第三章介绍了废弃机电电子电器的材料。第四章介绍了废弃机电电子电器的拆解。第五章介绍了废弃机电电子电器中材料的分析方法。第六章介绍了废弃机电电子电器的资源化利用技术。第七章介绍了不同典型部件(器件)处理工艺。第八章、第九章和第十章分别介绍了废弃机电电子电器中金属、高分子材料和其他有价值材料的资源化利用技术。第十一章介绍了废弃机电电子电器资源化利用过程中的环境保护。本书可作为资源循环科学与工程专业本科专业的教材,也可作为相关企业、技术部门技术人员的参考书籍。

本书由天津理工大学朱振主编,希望本书的出版能够给从事废弃机电电子电器资源化利用的相关技术人员提供一定的指导,并在我国废弃机电电子电器资源化利用技术的发展中起到积极作用。本书若能起到抛砖引玉的作用,引起全社会对废弃机电电子电器资源化利用、环境和资源的重视,这也是我们编著此书的初衷。但限于作者的专业水平和知识结构,许多问题仍有待进一步探讨。特别是废弃机电电子电器资源化利用技术在我国还处于起步阶段,因此本书一些不准确、不全面的地方在所难免,恳请广大读者和同仁批评、指正。

编者

2017年12月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 废弃机电电子电器的基本概念	1
1.1.1 废弃机电电子电器的范畴	1
1.1.2 国内废弃机电电子电器的来源	1
1.1.3 国内废弃机电电子电器的收集渠道	2
1.1.4 国内废弃机电电子电器的去向	2
1.2 废弃机电电子电器的特点	2
1.3 废弃机电电子电器的原材料	4
1.3.1 金属材料	4
1.3.2 无机非金属材料	6
1.3.3 高分子材料	7
1.4 废弃机电电子电器资源化利用的必要性	7
1.4.1 废弃机电电子电器数量剧增	8
1.4.2 生态环境保护的需要	8
1.4.3 减少资源浪费的需要	9
1.4.4 生产者责任延伸制的需要	10
1.4.5 国际贸易的需要	11
1.5 废弃机电电子电器资源化利用的现状与发展	11
1.5.1 废弃机电电子电器资源化利用的分类管理	11
1.5.2 国外废弃机电电子电器资源化利用的现状	12
1.5.3 国内废弃机电电子电器资源化利用的现状	13
1.5.4 废弃机电电子电器资源化利用的发展趋势	15
第二章 常见机电电子电器的内部结构及组成	16
2.1 电视机	16
2.1.1 电视机的分类	16
2.1.2 阴极射线管电视机的结构	16
2.1.3 液晶电视机的结构	19
2.2 计算机	20
2.2.1 计算机的分类	20
2.2.2 计算机的基本组成	21
2.2.3 台式计算机的结构	22
2.2.4 笔记本式计算机的结构	25
2.3 手机	29
2.3.1 手机的分类	29

2.3.2	手机的基本组成	29
2.3.3	功能手机和智能手机	30
2.4	汽车	31
2.4.1	汽车的分类	31
2.4.2	汽车的结构	32
2.5	机床	34
2.5.1	机床的分类	34
2.5.2	卧式车床	34
2.5.3	数控车床	35
2.6	其他常见机电电子电器	36
2.6.1	电冰箱	36
2.6.2	洗衣机	36
2.6.3	微波炉	38
2.6.4	空调机	39
2.6.5	电梯	41
第三章	机电电子电器中的材料	43
3.1	介电材料	43
3.2	电阻材料	44
3.3	绝缘材料	45
3.4	半导体材料	46
3.5	导电材料	47
3.6	光纤材料	48
3.7	光电显示材料	49
3.8	密封材料	50
3.9	磁性材料	51
3.10	敏感材料	52
3.11	润滑材料	54
第四章	废弃机电电子电器的拆解	56
4.1	废弃机电电子电器拆解技术	56
4.1.1	废弃机电电子电器拆解目标	56
4.1.2	废弃机电电子电器拆解原则	57
4.2	废旧微波炉的拆解	57
4.2.1	拆解工具	57
4.2.2	废旧微波炉的拆解技术	58
4.3	废旧笔记本式计算机的拆解	61
4.3.1	拆解工具和防静电措施	61
4.3.2	废旧笔记本式计算机的拆解技术	62
4.4	废旧电冰箱的拆解	69
4.4.1	拆解工具	69

4.4.2	废旧电冰箱的拆解技术	70
4.5	废旧洗衣机的拆解	73
4.5.1	拆解工具	73
4.5.2	废旧洗衣机的拆解技术	73
4.6	废旧手机的拆解	80
4.6.1	拆解工具	80
4.6.2	废旧手机的拆解技术	82
4.7	废旧汽车的拆解	87
4.7.1	拆解工具	87
4.7.2	废旧汽车的拆解技术	91
4.8	其他常见废弃机电电子电器的拆解	93
4.8.1	废旧液晶电视机的拆解	93
4.8.2	废旧空调器的拆解	101
第五章 废弃机电电子电器中材料的分析方法		110
5.1	试样采集	110
5.2	试样制备	110
5.2.1	无机试样制备	111
5.2.2	有机试样制备	113
5.3	分离富集技术	113
5.4	金属的分析方法	116
5.5	常见金属的分析方法	118
5.5.1	铜	118
5.5.2	铝	120
5.5.3	铅	122
5.5.4	镁	123
5.5.5	铁	125
5.5.6	铬	126
5.5.7	锡	128
5.5.8	镍	129
5.5.9	锌	131
5.5.10	镉	133
5.5.11	钛	134
5.5.12	锰	136
5.5.13	金	137
5.5.14	银	139
5.5.15	钯	139
5.5.16	铂	141
5.6	高分子材料鉴别技术	142
5.6.1	塑料的鉴别	144

5.6.2	橡胶的鉴别	148
5.6.3	纤维的鉴别	150
第六章 废弃机电电子电器资源化利用技术		151
6.1	废弃机电电子电器再利用技术	152
6.2	废弃机电电子电器再制造技术	152
6.2.1	再制造实用拆解技术	153
6.2.2	再制造实用清洗技术	154
6.2.3	再制造实用检测技术	156
6.2.4	再制造加工技术	158
6.2.5	再制造装配技术	159
6.2.6	再制造机电电子电器的涂装技术	160
6.2.7	再制造机电电子电器的包装技术	160
6.3	废弃机电电子电器再循环技术	161
6.3.1	机械处理技术	161
6.3.2	热处理技术	184
6.3.3	湿法冶金技术	198
6.3.4	生物处理技术	213
6.3.5	废弃机电电子电器资源化利用集成技术	216
第七章 典型部件(器件)处理工艺		217
7.1	废旧印刷电路板资源化利用	217
7.1.1	废旧印刷电路板资源化利用的必要性	217
7.1.2	废旧印刷电路板资源化利用技术	218
7.2	废旧压缩机资源化利用技术	223
7.2.1	制冷剂资源化利用	224
7.2.2	废旧压缩机油资源化利用技术	229
7.2.3	压缩机体资源化利用技术	230
7.3	废旧电线资源化利用技术	231
7.3.1	机械处理技术	232
7.3.2	热处理技术	233
7.3.3	化学处理技术	234
7.3.4	低温冷冻处理技术	234
7.3.5	超声波分离回收技术	234
7.3.6	高压水射流回收技术	234
7.4	废旧电池资源化利用技术	235
7.4.1	废旧干电池资源化利用技术	236
7.4.2	废旧镍镉电池资源化利用技术	238
7.4.3	废旧锂离子电池资源化利用技术	239
7.4.4	废旧纽扣电池资源化利用技术	242

7.5	废旧显像器资源化利用技术	243
7.5.1	阴极射线管显示器资源化利用技术	246
7.5.2	废旧液晶显示器资源化利用技术	248
7.6	废旧发动机资源化利用技术	249
7.6.1	废旧汽车发动机资源化利用技术	249
第八章 废弃机电电子电器中金属的资源化利用技术		252
8.1	含铜废料的资源化利用技术	253
8.1.1	含铜废料的直接利用	254
8.1.2	再生铜的火法冶炼工艺	254
8.1.3	再生铜的湿法冶炼工艺	256
8.1.4	含铜废料资源化利用实例	257
8.2	含铝废料的资源化利用技术	258
8.2.1	火法冶金工艺	258
8.2.2	含铝废料的电解技术	261
8.2.3	含铝废料资源化利用实例	261
8.3	含铅废料的资源化利用技术	262
8.3.1	火法工艺	262
8.3.2	湿法工艺	263
8.3.3	含铅废料的资源化利用实例	264
8.4	含锌废料的资源化利用技术	267
8.4.1	含锌废料的分选除杂	267
8.4.2	第一类料(含锌废料)的重熔再生	267
8.4.3	第二、三类料(含锌废料)的冶金再生	268
8.4.4	含锌废料的资源化利用实例	271
8.5	含锡废料的资源化利用技术	272
8.5.1	马口铁废料的资源化利用技术	272
8.5.2	含锡合金废料的资源化利用技术	273
8.5.3	含锡废料及边角料的资源化利用技术	275
8.5.4	含锡烟尘的资源化利用技术	276
8.5.5	含锡废料的资源化利用实例	276
8.6	含镍废料的资源化利用技术	276
8.6.1	含镍废料的干法(火法)	277
8.6.2	含镍废料的湿法	277
8.6.3	干法-湿法联合法	278
8.6.4	含镍废料的资源化利用实例	278
8.7	废旧钢铁的资源化利用技术	279
8.7.1	废旧钢铁的一般要求	280
8.7.2	废旧钢铁的加工	281
8.7.3	废旧钢铁的冶炼技术	283

8.7.4	废旧钢铁的资源化利用实例	284
8.8	含金废料的资源化利用技术	286
8.8.1	含金废料	286
8.8.2	镀金废料	287
8.8.3	金的精炼	288
8.8.4	含金废料的资源化利用实例	289
8.9	含银废料的资源化利用技术	289
8.9.1	镀银件	290
8.9.2	含银废合金	290
8.9.3	银的精炼	291
8.9.4	含银废料的资源化利用实例	292
8.10	含钯废料的资源化利用技术	292
8.10.1	钯合金废料	292
8.10.2	含钯废料的资源化利用实例	293
8.11	含铂废料的资源化利用技术	294
8.11.1	金电解废液	294
8.11.2	镀铂、涂铂的废料	295
8.11.3	铂的精炼	295
8.11.4	含铂废料的资源化利用实例	296
第九章	废弃机电电子电器中高分子材料的资源化利用技术	299
9.1	废旧塑料的资源化利用技术	299
9.1.1	物理再生利用法	301
9.1.2	化学再生利用法	309
9.1.3	能量再生法	311
9.2	废旧橡胶的资源化利用技术	312
9.3	废旧纤维的资源化利用技术	316
9.4	废旧高分子材料的资源化利用实例	317
9.4.1	利用废旧塑料制成木塑制品	317
9.4.2	利用废旧轮胎胶粉制成防腐涂料	318
9.4.3	利用废旧锦纶纤维制成锦纶塑料	318
第十章	废弃机电电子电器中其他有价值材料的资源化利用技术	320
10.1	废旧玻璃资源化利用技术	320
10.1.1	废旧玻璃资源化利用的工艺流程	320
10.1.2	废旧玻璃资源化利用实例	321
10.2	废旧润滑油资源化利用技术	323
10.2.1	废旧润滑油的组成	324
10.2.2	废旧润滑油资源化利用的基本工艺	324
10.2.3	废旧润滑油资源化利用实例	328

第一章 绪 论

1.1 废弃机电电子电器的基本概念

1.1.1 废弃机电电子电器的范畴

废弃机电电子电器主要包括废弃机电设备和废弃电子电器设备及其零部件、元器件、材料等；机电设备和电子电器设备制造过程中产生的废品、残次品等；机电设备和电子电器设备维修过程中产生的报废品和废弃零部件。按照可利用情况将废弃机电电子电器分为可利用、不能利用和制造过程中产生的边角料；按废弃机电电子电器组成的部件进行分类，可分为电路板、显示器、数据线、发动机、电源（电池）等部件；按照原材料成分进行分类，可分为金属、陶瓷、塑料、橡胶、半导体、复合材料等。

废弃机电设备是指有电力控制的大型生产设备（废弃），即是应用了机械、电子技术的设备（废弃），主要包括物料输送设备、自动加工设备、机器人系统、发电和输电设备、商用和日用机电设备，如废旧汽车、废旧机床、废旧拖拉机等。按废弃机电设备的用途可分为三大类：废弃的产业类机电设备、废弃的信息类机电设备和废弃的民生类机电设备。按国家标准，可将废弃机电设备分为通用机械类、通用电工类，通用、专用仪器仪表类和专用设备类（废弃）。废弃电子电器设备是指由电子元器件组成，以电为能源的设备（废弃）。废弃电子电器设备可分为废弃电子产品和废弃电器产品。一般来说，废弃电子电器设备主要包括废弃的大型家用器具、废弃的小型家用器具、废弃的信息技术和废弃的远程通信设备、废弃用户设备、废弃照明设备、废弃的电气和电子工具、废弃玩具、废弃的休闲和运动设备、废弃的监视和控制装置、废弃医用设备以及废弃自动售货机，如废旧电视机、废旧打印机、废旧复印机、废旧电冰箱、废旧空调机、废旧洗衣机、废旧微波炉、废旧电池、废旧精密电子仪器仪表等。

1.1.2 国内废弃机电电子电器的来源

(1) 居民家庭 随着人民生活水平的不断提高，家庭购买各种机电电子电器的数量越来越多，科学技术的快速发展也极大缩短了机电电子电器设备的更新周期，导致废弃机电电子电器的数量急剧增加。

(2) 企事业单位和政府部门 如电信系统、高等院校、科研院所等部门的工作需要，产生大量废弃机电电子电器，由于其存在残值，财务制度一般不允许将其报废，而造成其闲置。

(3) 制造商 生产过程中产生的废弃机电电子电器，包括滞销产品、残次品、退回产品等。

(4) 分销商 经营过程中产生的废弃机电电子电器，包括积压存货、退货和损坏产品以及采用“以旧换新”活动收集的废弃机电电子电器。

(5) 境外非法进口 由于缺乏相应环保标准和法律体系的保障，大量国外废弃机电电子电器（洋垃圾）涌入国内。

1.1.3 国内废弃机电电子电器的收集渠道

(1) 上门收集 活跃在街头巷尾上门收购的小商小贩是收集废弃机电电子电器的“主力军”。其从业者主要是个体收购者，也有受经销商雇佣的小商贩。这是目前收集废弃机电电子电器的主要渠道。

(2) 社区集中收购点 收集社区居民的废弃机电电子电器，并将其中能继续使用的（如废旧电视机）送往二手市场再销售，不能继续使用的送往废品收购站或拆解作坊收集零部件及其原材料。

(3) 以旧换新 根据制造商收购委托，商场通过这种途径收集废弃机电电子电器（主要是废弃家电），部分被送回工厂再制造或拆解收集零部件及其原材料，部分流入二手市场。

(4) 垃圾处理 部分废弃机电电子电器以生活垃圾形式遗弃，通过垃圾厂收集并进行无害化处理。由于国内经济水平的限制和上门收集活动的繁荣，通过此种渠道收集的废弃机电电子电器的数量较少。

(5) 售后服务部或维修站 不能正常工作的机电电子电器被送到售后服务部或维修站进行维修，无法修复的机电电子电器由售后服务部或维修站收集。同时，废品收购商会将收集的废弃机电电子电器卖给维修站，将其拆解实现零部件重新利用，此种渠道特别适合更新周期较短的机电电子电器，如手机。

1.1.4 国内废弃机电电子电器的去向

(1) 流通到农村或贫困地区 由于我国城乡水平差距较大，已经报废或者淘汰的机电电子电器经过维修或改装后，对农村和贫困地区家庭仍存在一定使用价值。通过向农村和贫困地区捐赠，实现废弃机电电子电器再利用。捐赠方式主要包括：消费者通过公益活动将淘汰的机电电子电器捐赠到农村和贫困地区；制造商出于各种目的将积压产品捐赠农村或贫困地区。

(2) 进入销售市场 制造商或经销商将积压产品或维修后可继续使用的机电电子电器进行折价销售，企事业单位将更新换代下来的机电电子电器直接出售。还有一些抵债、罚没的机电电子电器进入销售市场，但数量不多。同时，维修站或生产商通过维修、翻新、功能恢复、再次销售等环节以实现废弃机电电子电器的再次利用。如家庭出于经济考虑，购买二手汽车、二手打印机等。

(3) 其他去向 废品收购站通过拆解废弃机电电子电器，获得有利用价值的零部件，或销售给原厂商再制造，或供给维修部用于维修，或销售给其他厂商改为他用。不能再利用的零部件从中提取原材料并销售给制造商循环使用。而完全失去利用价值的部分连同拆解过程所产生的废弃物可直接作为垃圾由垃圾处理厂进行填埋或焚烧。

1.2 废弃机电电子电器的特点

(1) 种类多 废弃机电电子电器设备种类繁多，从体积角度看，废弃机电电子电器可以大到废旧飞机、废旧轮船、废旧拖拉机等大型机电设备，废弃机电电子电器也可以小到废旧手机、废旧剃须刀等小型电子电器设备。从重量角度看，废弃机电电子电器可以小到公斤级别、克级别，也可以大到几百、几千吨级别。简单结构的废弃机电电子电器可以由几个零部件组成，也有由数千以至数万个零部件构成的结构复杂的废弃机电

电子电器。有的废弃机电电子电器的原材料种类是由几种原材料构成,有的废弃机电电子电器由多达几十种乃至上万种原材料构成。

(2) 数量大 随着经济和科学技术的快速发展以及人们生活水平不断提高,大量机电电子电器设备被广泛地应用于生活、生产和科学等领域。国内手机、计算机、电视机等电子电器的年产量超过 20 亿台,由此也产生了大量废弃机电电子电器。目前,国内废弃电子电器设备量超过 2 亿台,重量超过 500 万吨(t),中国已成为世界第一大废弃电子电器产生国。同时,制造机电电子电器的过程中,还会产生大量的不合格产品、呆料、下脚料等。

(3) 增长迅速 近年来,机电电子电器的更新换代速度不断加快,由此产生的废弃机电电子电器的数量以惊人的速度增长。特别是电子信息产品,由于升级换代快,更新报废的周期更短,如手机。

(4) 污染性 废弃机电电子电器设备含有多种有毒有害物质,如铅、汞、镉、六价铬、氯氟烃、多溴联苯、多溴二苯醚等物质。其中,废旧电冰箱和空调机的制冷剂氯氟烃和保温层内的发泡剂氢氯氟烃都属于损耗臭氧层物质。废旧阴极射线管显示器的阴极射线管含有钡、铅(表 1-1)和危险的发光物质。废旧印刷电路板有溴化阻燃剂,其持久性强,并易在人体内积聚,从而干扰人体的内分泌、免疫和神经系统,还可能增加消化系统和淋巴系统致癌的危险。焚烧过程会产生二噁英等致癌致畸物质。废旧印刷电路板含铅、铬、镉、镍、砷等金属,废旧电池含有汞、镉、锌、镍等金属,电子电器的金属防腐涂料通常含(六价)铬,半导体和贴片元件通常含镉。若随意堆放、填埋或焚烧废弃机电电子电器会造成严重的环境污染。

(5) 资源性 废弃机电电子电器含有大量有用物质,例如塑料(包括聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚酯、酚树脂、聚碳酸酯等)可作为新产品的原材料或被用作燃料。废旧印刷电路板含大量的铜,还有铝、镍、铅等普通金属以及金、银、铂等稀贵金属。1 t 废旧印刷电路板可提炼 130 kg 铜、0.45 kg 黄金、19 kg 锡。1 t 手机的废旧电池可提炼 100 g 黄金,而 1 t 金矿石只能提炼 6 g 黄金。废弃机电电子电器的资源化利用不仅减少(自然)资源的开采量,节约了大量的矿石提炼所需的能源消耗,并从废弃机电电子电器中获得各种稀有金属要比开矿容易得多。因此,废弃机电电子电器的资源化利用可以实现(自然)资源的永续利用。此外,废弃机电电子电器有一定价值的零部件还可以继续使用,如齿轮等。

(6) 处理困难 虽然废弃机电电子电器的资源性非常高,但是由于其含有大量有毒有害物质,要想实现废弃机电电子电器的资源化利用和无害化处理,需要先进的技术、设备、工艺以及高投资。此外,由于机电电子电器的种类繁多,其使用寿命和更新周期各有不同,故相应的资源化利用技术各不相同。比如说,手机和电视机的资源化利用技术有所不同,甚至是不同型号的电视机或手机的资源化利用技术都有所不同(如液晶电视机的资源化利用技术不同于和阴极射线管电视机)。以上问题都极大限制了废弃机电电子电器资源化利用技术的大规模应用和推广。

表 1-1 阴极射线管玻壳组件及其中铅含量

玻壳组件名称	占玻壳组件含量	组件铅的含量	占阴极射线管总铅含量的百分比
屏玻璃	69.90%	0%~4%	15.3%
熔结玻璃	4.90%	70%~80%	2.2%
锥玻璃	25.20%	22%~28%	77.2%
颈玻璃	0.10%	26%~32%	1.0%

1.3 废弃机电电子电器的原材料

通常人们所看到的各类机电电子电器设备都是由各种复杂的元器件或元器件的集合体组成的。而且，制造复杂的元器件或元器件的集合体所用的原材料种类繁多。以计算机为例，制造一台个人计算机所用的原材料多达 1000 多种。一般来说，可将机电电子电器的原材料分为金属材料、无机非金属材料和高分子材料。

1.3.1 金属材料

指金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料的统称，包括纯金属、合金、特种金属材料等。其中，纯金属是由单种金属元素组成的物质，合金是以一种金属元素为基础，与其他元素（一种或几种金属或非金属元素）组成的具有金属性质的物质。根据组成元素的数目，可分为二元合金、三元合金和多元合金。金属材料，尤其是钢铁材料广泛应用于各种机器、设备、交通运输工具、火箭等方面。金属材料通常分为黑色金属、有色金属和特种金属材料。

黑色金属主要指铁、锰、铬及其合金，如钢、生铁、铁合金、铸铁等，包括含铁 90% 以上的工业纯铁，含碳 2%~4% 的铸铁，含碳小于 2% 的碳钢以及各种用途的结构钢、不锈钢、耐热钢、高温合金、精密合金等。有色金属是指除铁、铬、锰以外的所有金属及其合金。特殊金属材料包括不同用途的结构金属材料 and 功能金属材料。下面简单介绍几种应用于机电电子电器的常见金属材料。

(1) 铜 由于其具有优良的导电性、导热性、延展性和耐蚀性，主要应用于制作机电电子电器设备的器件，如电动机、印刷电路板、电线、开关装置、变压器等。其中，铜线材是产量最大、应用面最广的品种（主要是黄铜，包括普通黄铜线、黄铜扁线、铅黄铜线等），如被广泛用于电线电缆导体、漆包线、镀锡线等的制造。管材的用途相对集中，主要应用于空调盘管、冷凝管和给排水管的制造。带材主要用于变电器、汽车水箱散热片、电子铜带和普通黄铜带的制造。例如，电子铜带是铜铁磷合金，主要用于集成电路插件；普通黄铜带主要用于制造汽车仪表、各种散热片、电容器等。还有电解铜箔主要用于制作印制电路板。同时，种类繁多的铜合金（黄铜、青铜和白铜）广泛应用于电子产品、船舶、汽车、飞机、家用电器等领域。此外，铜也是其他金属合金（如铝合金、锌合金、锡基合金等）的重要合金元素。

(2) 铝 铝及其合金具有密度小、塑性好、强度高、抗腐蚀能力强等特点。其中，铝的导电性仅次于银、铜和金，而它的导电率只有铜的 2/3，密度只是铜的 1/3，故输送相同电量的铝线的质量只有铜线的一半。此外，铝表面的氧化膜聚有耐腐蚀性和绝缘性。机电电子电器中，铝及其合金广泛应用于结构材料（如汽车车门）、散热器、导体、

电容器等部件的制造。同时,铝也是铜、镁、锌、镍、钛等合金及某些钢种的重要合金元素。根据用途可以将铝及其合金的加工产品分为两类:一类是通用产品,包括薄板、厚板、箔、棒材、线材、管材以及结构型材,其中,板材分为圆棒和非圆形棒,管材分为标准圆管和非标准圆形管;另一类是非通用的产品,这是为了某个特定用途而设定的产品,包括挤压型材、锻件、冲挤件、铸件、冲压件、粉末冶金零件、机加工件和铝基复合材料。

(3) 黑色金属 其制品主要是机电电子电器的外壳、螺母、齿轮、传动轴等,且所占比例较高,如洗衣机的黑色金属含量为53%~69%。常见的黑色金属及其制品,如灰铸铁件(断口呈烟灰色的铁碳合金)具有抗拉强度低、抗压强度高、流动性好等特点,根据其化学成分不同分为HT100、HT150、HT200等不同牌号,可分别铸造易磨损零件(如汽车的变速箱、排气管、进气管等)、耐压件(如机床床身、压缩机机身、轴承架等)、高度气密性的铸件(高压液压缸、泵体、阀体、泵壳等)等。球磨铸铁具有良好的焊接性、可加工、耐磨性等特点,可做成曲轴、凸轮轴、减速齿轮等零件。蠕墨铸铁件(铸铁的石墨呈短蠕虫状)具有高强度、高耐磨性、高硬度和较高的导热率等特点,适用于较高强度、刚度及耐磨的零件,如大型机床床身、飞轮、液压件、排气管、大型齿轮箱体等。中碳铸钢具有一定的韧性和塑性,强度和硬度较高,切削性和焊接良好,用于制作机架、箱体、连杆、缸体、制动轮等。高锰钢铸件具有高强度,良好塑性和韧性,用于铸造各种耐冲击、抗磨损的零件,如破碎壁、辊套、齿板等。

(4) 铅 钎料的主要合金元素之一,其作用主要是降低钎料的熔点和表面张力,从而提高钎料的润湿性,还可以大幅度地降低钎料价格,焊接组装印刷电路板主要使用含铅37%以上的锡铅钎料。在空调、汽车的散热器铜管和散热片的焊接主要使用含铅40%的锡铅钎料。阴极射线管显示器的锥玻璃含大量的铅。此外,压电陶瓷、电阻、电池、涂料、蒸发器等零部件都含铅,如压缩机表面的涂料。铅可与锡、铋等形成各种合金,如焊料、保险丝、低熔合金、轴承合金等。铅青铜是一种重要的耐磨轴承合金,被广泛应用于制造高负荷轴瓦。铅还广泛应用于蓄电池的制造。

(5) 汞 主要应用在照明电器、荧光屏(如纯平显示器)、汞弧整流器、高压汞灯、汞开关灯、电池、磁盘驱动器等零部件的制造。

(6) 镉 主要应用于电池、蓄电池、电触头材料、印刷电路板、低熔点焊料、燃料、助剂等的制造。

(7) 铬 广泛应用于耐火材料、电镀、颜料等的制造。铬是不锈耐酸钢和耐蚀钢中不可缺少的元素,它可提高钢的机械强度、耐磨性、高温抗氧化性。此外,铬是镍基耐蚀合金、镍基高温合金、镍铬热电偶合金等材料的主要合金元素。

(8) 镁 由于纯镁的硬度不够强,通常以镁合金形式存在于机电电子电器。镁合金的特点是密度小、比强度高、弹性模量大、消震性好、承受冲击载荷能力优于铝合金,且耐腐蚀性能好。目前使用最广的是镁铝合金,其次是镁锰合金和镁锌铝合金。镁合金是航空器、航天器和火箭导弹制造工业中使用的最轻金属结构材料。在汽车零部件、手机,笔记本电脑、投影仪、电视机等的外壳以及散热部件中通常使用镁合金。此外,在铝合金、球墨铸铁、锌合金等材料中添加一定量的镁,可提高其性能。

(9) 镍 由于其具有铁磁性、质硬、延展性、耐腐蚀性等特点,主要用于制造合

金。镍可以增强钢的强度、弹性、延展性和抗腐蚀性，尤其是可以提高钢的淬透性，使钢具有极高的机械性能（如韧性、防腐抗酸性、高导磁性等）。以镍为基体的耐蚀合金具有优异的耐腐蚀性，如镍铜合金具有优异的耐氢氟酸性能。

(10) 锌 具有良好的压延性、耐磨性、抗腐蚀性、铸造性，且具有良好的常温机械性，能与多种金属制成性能优良的合金。主要以镀锌、锌基合金和氧化锌形式广泛应用于汽车、船舶、飞机、电池等。例如，锌基合金主要用于制造压铸件（仪表、汽车零件外壳等）、轴承合金、压力加工制品等。

(11) 锡 具有银白色、无毒、良好的焊接、优良的延展性等特点，被广泛应用于电子、食品、汽车等工业。锡压延成锡箔可作为包裹材料（电气），如镀锡铁皮广泛应用于仪表、仪器、家用电器等的制造。锡也可用于制造各种合金，其中，锡基轴承合金和铅基轴承合金（最常见），可用来制造汽轮机、发电机、飞机等承受高速高压机械设备的轴承。以铜、锡为主要组分的锡青铜、锡磷青铜具有较高的耐磨、耐蚀及良好的机械、铸造性能。锡黄铜主要用于制造船舶零件、船舶焊接条等。此外，锡是焊料、印刷合金和易熔合金的主要组分。

(12) 钛 钛及其合金被广泛应用造船工业、制造机械部件、电信器材、硬质合金等方面。钛能改进合金（铜基、铝基、镍基等合金）的物理-机械特性和耐蚀性。此外，钛基合金具有高的强度、优异的抗蠕变性能、可靠的热稳定性、抗氧化性等性能，如其用于制造铣削钢的刀具。

(13) 金 主要存在于印制电路板、有源元器件和片状元器件，如锗普通二极管、硅整流元件、硅整流二极管、硅稳压二极管、可控硅整流元件、硅双基二极管、硅高频小功率晶体管、高频晶体管、高频三极管、高频小功率开关管、干簧继电器、电容器、电阻器、集成电路、触点、引线等。

(14) 银 由于其价格远低于金，机电电子电器的银用量远大于金。依据来源渠道，可将含银废料分为电子行业含银废料（包括含银触点材料、钎料、涂镀层、银电极和导体、废板卡、各类废电子元器件和含银复合材料等）、石化行业含银废料（包括各种含银催化剂、各类使用后含银化合物等）、胶片行业含银废料（包括各种废胶片、相纸、洗相用液和制造胶片过程中的含银废弃物等）、首饰及装饰行业含银废料（包括各类含银首饰、含银艺术品等）和其他工业行业含银废料（如铸币材料、牙用材料、陶瓷装饰材料等）。随着数码技术迅速发展，胶片行业的用银量逐渐下降，但电子和信息产业的用银量正逐年大幅度上升。

(15) 钯 电子浆料、电镀材料和多种触头材料的重要组分。随着信息产业的高速发展，钯的用量急剧增加，其用量仅次于银（机电电子电器的贵金属用量）。

(16) 铂 机电电子电器中，铂主要以含铂合金和含铂涂镀层形式存在，且含量较少（与银、金和钯相比）。

1.3.2 无机非金属材料

主要指硅酸盐材料，但随着科学和技术的发展以及人们生活的需要，一些具有特殊结构、功能的新型无机非金属材料被相继研制出来，如半导体材料、发光材料等。目前，废弃机电电子电器的无机非金属材料主要包括玻璃、陶瓷和半导体材料。

(1) 玻璃 由二氧化硅和其他化学物质（主要生产原料包括纯碱、石灰石和石英）