

普通高等教育“十三五”规划教材

固体废物处理 与处置

第二版

唐雪娇 沈伯雄 主编 王晋刚 副主编



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

固体废物处理 与处置

第二版

唐雪娇 沈伯雄 主编

王晋刚 副主编



化学工业出版社

·北京·

本书共 11 章, 主要内容包括绪论, 固体废物的收集、运输与压实, 固体废物的破碎和细磨, 固体废物的分选、脱水、焚烧、热解和生物处理, 固体废物的处置方法, 固体废物制备建筑材料, 危险废物处理与处置等。

本书可作为高等院校环境工程、环境科学等专业师生的教材, 也可供环境保护领域的研究人员、管理人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

固体废物处理与处置/唐雪娇, 沈伯雄主编. —2 版.
北京: 化学工业出版社, 2018. 1
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-30876-4

I. ①固… II. ①唐… ②沈… III. ①固体废物处
理-高等学校-教材 IV. ①X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 263507 号

责任编辑: 满悦芝
责任校对: 边涛

文字编辑: 孙凤英
装帧设计: 张辉

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 装: 三河市双峰印刷装订有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 384 千字 2018 年 3 月北京第 2 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: 45.00 元

版权所有 违者必究

再版前言

2015年1月，新修订的《中华人民共和国环境保护法》正式实施。这部被认为是“史上最严”的环保法，不仅对企业提出了更严苛的要求，在政府责任明确、公众监督机制等方面也做出了许多新的探索。加之国家“十二五”规划顺利收官，固体废物尤其是危险废物污染治理方面的一系列法律法规得到进一步补充和完善。自本教材出版六年以来，全国固体废物污染治理乃至整个环境保护大形势已然发生了更多积极的转变。

本次再版，对教材中涉及新政策、新法规、新技术、新实例的部分做了增删添补，对涉及历年统计数据及反映固体废物治理形势变化的内容做了适时更新，尤其是对第10章固体废物制备建筑材料和第11章危险废物处理与处置两个章节进行了细致深入的修改，使之契合时势发展，以期更好地供相关专业学生、教师及本领域工程技术人员参考。

本版教材由唐雪娇、沈伯雄担任主编，王晋刚担任副主编。本版各章编写人员情况为：唐雪娇（第1章~第4章、第6章、第8章），陈建宏、沈伯雄（第5章），郝小翠、沈伯雄（第7章），马娟、左琛、沈伯雄（第9章），王晋刚、吴丰鹏（第10章），马淑红、王晋刚（第11章）；历年统计数据及相关内容更新由唐雪娇、薛晶晶完成。

在此对使用本教材的学者和老师们表示诚挚谢意。由于编者知识水平有限，书中难免仍有纰漏及不妥之处，敬请读者雅正，以便在后续修订中日臻完善。

唐雪娇

2017年12月于南开园

第一版前言

随着社会和经济的发展，能源和资源的消耗量不断增加，中国成为世界最大的固体废物产生国之一。大量生活和工业垃圾如缺少处理而露天堆放，使城市垃圾围城现象严重，有毒物质污染地表水和地下水，严重危害人类的健康。固体废物成为了严重的环境污染问题，进行固体废物的处理处置成为环境保护的一个重要方面。

固体废物处理与处置是高等学校环境工程专业重要的专业课程。本教材参照国家教育部高等院校环境工程专业教材委员会制定的教学基本要求，结合环境工程注册工程师考试大纲的基本要求编写而成。本教材的主要对象是环境工程专业本科生，建议的教学学时数为40~60学时。本教材也可以供环境工程类研究生参考，以及环境科学、环境监测和环境管理等专业的本科生选用，同时还可供环境机械与环境化工技术工程人员参考。

本教材主要介绍固废的来源、分类、特性及“三化”处理系统等基本知识；以城市生活垃圾、工业固体废物和危险废物为中心，以典型固体废物处理技术工艺和设备为实例，说明固体废物处理处置的基本原理和方法，并简单介绍了近期先进处理处置技术的发展。本教材内容丰富、系统全面、原理简明、案例实用，符合本科教学的基本要求。

本教材由沈伯雄担任主编，唐雪娇担任副主编。本书各章编写人员情况为：唐雪娇（第1章~第4章、第6章、第8章），陈建宏、沈伯雄（第5章），郝小翠、沈伯雄（第7章），马娟、左琛、沈伯雄（第9章），吴丰鹏、沈伯雄（第10章），沈伯雄（第11章）。

由于时间紧迫、编者能力有限，书中不当之处在所难免，诚恳地希望同行在使用本教材的过程中不断提出宝贵意见，以便有机会再版时予以吸纳和改进。

沈伯雄

2010年3月于南开园

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 固体废物的来源和分类	1
1.1.1 固体废物的来源	1
1.1.2 固体废物的分类	2
1.2 固体废物的污染及其控制	5
1.2.1 固体废物的特点和特征	5
1.2.2 我国固体废物污染	6
1.2.3 固体废物污染途径	7
1.2.4 固体废物污染危害	7
1.2.5 固体废物污染控制	8
1.3 固体废物处理处置方法	9
1.3.1 固体废物处理	9
1.3.2 固体废物处置	10
1.4 控制固体废物污染的技术政策	10
1.4.1 我国控制固体废物污染技术政策的产生	10
1.4.2 “无害化”	10
1.4.3 “减量化”	11
1.4.4 “资源化”	11
1.5 固体废物管理	12
1.5.1 固体废物管理理念与原则	12
1.5.2 固体废物管理法规体系	13
1.5.3 固体废物环境标准体系	14
1.5.4 加强危险固体废物管理, 控制危险废物越境转移	15
思考题	16
第 2 章 固体废物的收集、运输与压实	17
2.1 工业固体废物的收集及处理模式	17
2.2 城市垃圾的收集、运输	18
2.2.1 生活垃圾的搬运	18
2.2.2 生活垃圾的收集与运输	19
2.2.3 生活垃圾的转运及中转站设置	23
2.3 固体废物压实	25
2.3.1 概述	25
2.3.2 压实设备与流程	27
2.4 危险废物的收集、贮存与运输	30

2.4.1	危险废物的收集容器	30
2.4.2	危险废物的收集、贮存	30
2.4.3	危险固体废物的运输	30
	思考题	31
第3章	固体废物的破碎和细磨	32
3.1	破碎	32
3.1.1	破碎的概念和目的	32
3.1.2	破碎理论	32
3.1.3	固体废物的机械强度和破碎方法	33
3.1.4	破碎设备	36
3.2	细磨	46
3.2.1	细磨原理和方法	46
3.2.2	细磨设备	46
3.3	低温破碎	50
3.3.1	低温破碎原理和流程	50
3.3.2	低温破碎的应用	51
	思考题	52
第4章	固体废物分选	53
4.1	分选方法	53
4.2	筛选	55
4.2.1	筛选的基本原理	55
4.2.2	筛选效率的影响因素	57
4.2.3	筛选设备	59
4.3	重力分选	62
4.3.1	重介质分选	62
4.3.2	跳汰分选	63
4.3.3	风力分选	64
4.3.4	摇床分选	67
4.4	磁力分选	68
4.4.1	磁力分选原理	68
4.4.2	磁选设备	69
4.4.3	磁流体分选	70
4.5	电力分选	72
4.5.1	电力分选原理	72
4.5.2	电选设备及应用	72
4.6	浮选	73
4.6.1	浮选的基本原理	73
4.6.2	浮选药剂	73
4.6.3	浮选设备	75
4.6.4	浮选工艺	77

4.7 其他分选方法	78
4.7.1 摩擦与弹跳分选	78
4.7.2 光电分选	79
4.8 分选处理系统	80
思考题	81
第5章 固体废物的脱水	82
5.1 概述	82
5.1.1 高湿废物	82
5.1.2 污泥中水分的存在形式	83
5.2 脱水方法	83
5.2.1 污泥的浓缩	83
5.2.2 污泥的调理	86
5.2.3 污泥的机械脱水	92
思考题	101
第6章 固体废物的焚烧	102
6.1 固体废物热值的测定和计算	102
6.1.1 热值的测定	102
6.1.2 热值的计算	103
6.2 固体废物的燃烧	104
6.2.1 燃烧基本概念	104
6.2.2 理论燃烧温度的计算	106
6.2.3 停留时间的计算	107
6.2.4 燃烧方式分类	109
6.2.5 固体废物燃烧过程	109
6.2.6 影响固体废物燃烧的因素	111
6.3 固体废物的焚烧系统和设备	112
6.3.1 焚烧系统	112
6.3.2 焚烧设备和焚烧工艺系统	114
6.4 固体废物焚烧热能的回收利用	119
6.4.1 焚烧废气冷却方式	120
6.4.2 废热回收利用方式	121
6.5 固体废物焚烧污染物控制	123
6.5.1 固体废物焚烧污染物	123
6.5.2 酸性气体的控制	124
6.5.3 二噁英的产生与控制	124
6.5.4 恶臭的产生与控制	127
6.5.5 煤烟的产生与控制	128
6.5.6 重金属控制技术	128
6.5.7 焚烧残渣的处理与利用	129
思考题	130

第 7 章 固体废物的热解	131
7.1 热解的基本原理和方式	131
7.1.1 概述	131
7.1.2 热解原理	131
7.1.3 热解方式	133
7.1.4 影响热解的主要因素	134
7.2 几种固体废物的热解工艺流程	135
7.2.1 污泥的热解	135
7.2.2 废塑料的热解	137
7.2.3 废橡胶的热解	139
7.2.4 城市垃圾的热解	141
7.2.5 生物质的热解	143
思考题	145
第 8 章 固体废物的生物处理	146
8.1 好氧生物降解制堆肥	146
8.1.1 堆肥的概念	146
8.1.2 堆肥的原理	147
8.1.3 堆肥过程影响因素	149
8.1.4 堆肥工艺分类	151
8.1.5 堆肥的基本程序	153
8.1.6 堆肥发酵装置	157
8.1.7 堆肥质量	159
8.2 厌氧发酵制沼气	161
8.2.1 厌氧发酵原理	161
8.2.2 厌氧发酵原料	162
8.2.3 厌氧发酵影响因素	165
8.2.4 沼气发酵设备	167
8.2.5 厌氧发酵工艺	171
思考题	173
第 9 章 固体废物的处置方法	174
9.1 卫生土地填埋	174
9.1.1 概述	174
9.1.2 填埋场的选址	175
9.1.3 卫生填埋工艺	178
9.1.4 渗滤液的产生与处置	178
9.1.5 填埋气的收集与利用	186
9.1.6 填埋场封场及其综合利用	188
9.2 安全土地填埋	189
9.2.1 概述	189
9.2.2 场地的选择	190
9.2.3 填埋场结构和填埋方式	191
9.2.4 填埋场防渗系统	192

9.2.5 填埋气体导排	192
9.2.6 渗滤液产生与收集系统	193
9.2.7 终场覆盖与封场	194
思考题	194
第 10 章 固体废物制备建筑材料	195
10.1 建筑材料	195
10.1.1 无机建筑材料	195
10.1.2 水泥	196
10.1.3 建筑玻璃	198
10.1.4 混凝土	198
10.2 典型固体废物制备建筑材料	199
10.2.1 尾矿	199
10.2.2 煤矸石	201
10.2.3 粉煤灰	203
10.2.4 高炉渣	207
10.2.5 钢渣	208
10.2.6 电石渣	210
10.2.7 氨碱废渣	211
10.2.8 纯碱废渣	212
10.2.9 硼泥	214
10.2.10 铬渣	214
思考题	217
第 11 章 危险废物处理与处置	218
11.1 危险废物概述	218
11.1.1 危险废物的定义	218
11.1.2 危险废物的来源及分类	218
11.1.3 危险废物的鉴别	219
11.1.4 危险废物的管理	222
11.2 危险废物的处理与处置	223
11.2.1 物理处理技术	223
11.2.2 化学处理技术	223
11.2.3 危险废物的固化/稳定化	224
11.2.4 危险废物的焚烧	224
11.2.5 危险废物的安全填埋	224
11.3 几种典型危险废物的处理处置方法	225
11.3.1 废有机溶剂处理技术	225
11.3.2 医疗废物的处理与处置	227
11.3.3 废轮胎处理技术	232
11.3.4 垃圾焚烧渣和飞灰的固化技术	233
思考题	237
参考文献	239

第 1 章 绪 论

固体废物（简称固废）是指由人类在生产建设、日常生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或放弃的固态、半固态物质，置于容器中的非固态物质，以及法律、法规规定纳入固体废物管理的物质。

根据最新修订的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（以下简称《固废法》）规定，固体废物包括在工业、交通等生产活动中产生的工业固体废物，在日常生活中或者为日常生活提供服务的活动中产生的生活垃圾和列入国家危险废物名录中或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有危险特性的危险废物。固体废物具有以下四个特征：①产生于生产建设、日常生活和其他活动之中；②不再具有原使用价值；③固态、半固态和置于容器中的非固态物质；④对环境有可能产生污染和危害。

随着科技的发展，以前被人们认为是无价值的废物，现在又可以重新被认识并加以利用，即变废为宝；由于科技水平的提高，一些在某一生产环节中要被丢弃的废料，在另一个生产环节中可作为原料被循环利用，从而延长了该物料的生命周期。固体废物的这种时间性、地域性和行业性特点，决定了其在此处为废物，在彼处可能是宝贵的资源，因此被称为“放错了地方的资源”。例如，燃煤产生的大量粉煤灰对发电厂来说是废物，但是在脱硫厂可以被制成高效的吸附剂、脱硫剂；采矿业的煤矸石是煤矿的废物，但是可以成为水泥厂制水泥的原料。因此，要遵循循环经济的理念来看待固体废物，这是解决固废污染问题的根本的和有效的途径。

1.1 固体废物的来源和分类

1.1.1 固体废物的来源

固体废物来自人类活动的许多环节。按其来源一般分成两大类：一类是在生产过程中所产生的固体废物，即生产废物，如工业废渣和尾矿等；另一类是人们在消费过程中产生的固体废物，即生活垃圾，如塑料饭盒、废旧电视和冰箱等。

随着经济的发展、人类消费结构的改变和消费水平的不断提升，固体废物的来源更加多样，品种不断增多，数量不断增大。从各类发生源产生的主要固体废物详见表 1-1。

据《全国环境统计公报》，2015 年我国工业固体废物产生量为 32.7 亿吨，比上年增加 0.4%，其中危险废物产生量为 3976.1 万吨。随着电子电器在人们日常生活中的普及和更新换代速度的加快，电子废弃物（e-waste）的数量正以惊人的速度增长。根据联合国大学公布的世界首个《区域电子垃圾检测》研究报告，2015 年中国大陆的电子垃圾产生量为 668 万吨，居世界首位。我国电子电器产品的使用量激增，报废后产生的电子废弃物数量也十分巨大。截至 2015 年底，我国电视机、电冰箱、洗衣机、空调器和电脑五种电器的理论年报废量超过 1.2 亿台，首批目录产品理论年报废量超过 2.7 亿台，其中仅手机一项的理论报废量就超过 1.8 亿台。

表 1-1 从各类发生源产生的主要固体废物分类及组成

分类	来源	主要组成物
矿业废物	矿山、冶炼厂等	废石、尾矿、煤矸石、金属、废木、砖瓦、灰石、水泥、砂石等
工业废物	冶金、交通、机械、金属结构等工业	金属、矿渣、砂石、模型、芯、陶瓷边角料、涂料、管道、绝热和绝缘材料、黏结剂、废木、塑料、橡胶、烟尘、各种废旧建筑材料等
	食品加工	肉类、谷物、果类、蔬菜、烟草、各加工厂污水和污泥等
	橡胶、皮革、塑料等工业	橡胶、皮革、塑料、布、线、纤维、燃料、金属等
	造纸、木材、印刷等工业	刨花、锯木、碎木、化学药剂、金属填料、塑料填料、塑料等
	石油化工	化学药剂、金属、塑料、橡胶、陶瓷、沥青、油毡、石棉、涂料等
	电器、仪器仪表等工业	金属、玻璃、木材、橡胶、塑料、化学药剂、研磨料、陶瓷、绝缘材料
	纺织服装业	布头、纤维、橡胶、塑料、金属等
	建筑材料	金属、水泥、废木、黏土、陶瓷、石膏、石棉、砂石、纸、纤维等
	电力工业	炉渣、粉煤灰、烟灰
城市垃圾	居民生活	食物垃圾、果皮菜叶、纸屑、布料、塑料袋、金属、玻璃、泡沫塑料餐盒、陶瓷、灰渣、碎砖瓦、废电池、废旧家电、电子垃圾、粪便、杂品
	商业、机关	管道、碎砌体、沥青及其他建筑材料、废汽车、废电器、废器具，含有易爆、易燃、腐蚀性、放射性的废物及类似“居民生活”栏内的各种废物
	市政维护、管理部门	碎砖瓦、树叶、死禽畜、金属、锅炉灰渣、污泥、脏土等
农业废物	农、林、畜牧业	稻草、秸秆、蔬菜、水果、果树枝条、糠秕、落叶、废塑料、人畜粪便、禽粪、农药、禽畜加工皮毛、污水、污泥等
	水产	腥臭腐烂鱼、虾、贝壳、水产加工污水、污泥等，水体富营养化生成的大量藻类
有害废物	核工业、核电站、放射性医疗单位、科研单位	金属、含放射性废渣、粉尘、污泥、器具、劳保用具、建筑材料
	其他有关单位	含有易燃、易爆和有毒性、腐蚀性、反应性、传染性的固体废物

1.1.2 固体废物的分类

固体废物来源广泛、组成复杂，其分类方法很多。

按固体废物的化学特性，可分为无机废物和有机废物两大类；有机废物又可分为快速降解有机物、缓慢降解有机物和不可降解有机物。例如食品废物、纸类等属于快速降解有机物，皮革、橡胶和木头等属于慢速降解有机物，而聚乙烯薄膜和聚苯乙烯泡沫塑料餐盒等为不可降解有机物。

按固体废物的物理形态，可分为固体（块状、粒状、粉状）的和泥状（污泥）的废物。有些废物的使用价值与其形状有很大关系。例如，发电厂燃煤产生的粉煤灰，作为脱硫剂原料，颗粒大小、孔隙率、孔径大小及比表面积等都是重要参数。

按固体废物的危害性，可分为一般固体废物和危险废物。

按来源不同，可分为矿业固体废物、工业固体废物、城市垃圾、农业固体废物和危险废物。如表 1-1 所示，根据来源对固体废物进行了分类，并列出了其主要组成。

1.1.2.1 矿业固体废物

矿业固体废物主要是矿业开采和矿石洗选过程中产生的废物，包括煤矸石、废石和尾矿。煤矸石是在成煤过程中与煤层伴生的一种含碳量低、比较坚硬的黑色岩石，是在采煤和洗煤过程中排放出来的固体废物；废石是指各种金属、非金属矿山开采过程中从主矿上剥离下来的各种围岩；尾矿是在选矿过程中提取精矿以后剩下的尾渣。

我国是煤炭生产和消费大国，煤矸石是煤炭生产和加工中必然产生的废物，是目前我国

排放量和堆存量最大的工业固体废物之一，2015年全国重点调查工业企业的煤矸石产量为3.87亿吨，全国总产量估计超过4亿吨。截至2014年底，历年累计堆放的煤矸石约45亿吨，规模较大的矸石山有1600多座，占用土地约1.5万公顷，并以1.5亿~2.0亿吨的速度逐年增加。图1-1为我国2001~2015年煤矸石产量增长趋势图。随着经济水平的提高和煤炭消耗的增大，煤矸石年总产量持续攀升。大量煤矸石长期堆放不仅占用大面积土地，而且造成环境污染和生态破坏。

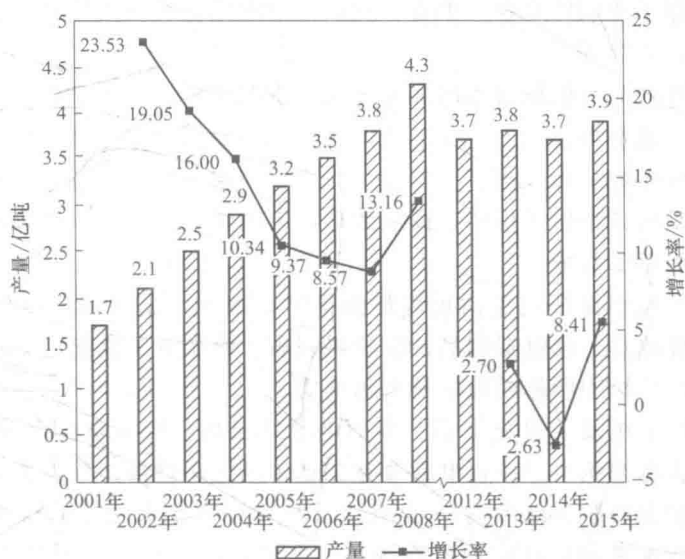


图 1-1 2001~2015 年我国煤矸石产量增长趋势图

注：2011年环境保护部对统计制度中的指标体系、调查方法及相关技术规定等进行了修订，故2012年以后统计数据不能与2010年以前直接比较。

1.1.2.2 工业固体废物

工业固体废物是指工业生产过程中的废渣、粉尘、碎屑、污泥等，主要有以下几种。

(1) 冶金固体废物 冶金固体废物主要是指各种金属冶炼过程中排出的残渣，如高炉渣、钢渣、铁合金渣、铜渣、锌渣、铅渣、镍渣、铬渣、镉渣、汞渣、赤泥等。

在铬盐生产中，铬铁矿等经过煅烧、用水浸出铬酸钠后剩下的残渣统称为铬渣。由于其含有大量水溶性六价铬，具有很大毒性，属于有毒固体废物，对环境污染严重。据不完全统计，铬盐行业每年无控制排入到环境中的含铬粉尘达3600t。由于铬渣的极大危害性，铬渣的污染防治工作一直受到重视。据《中国环境状况公报》，截至2012年底，全国堆存长达数十年的670万吨历史遗留铬渣已经全部处置完毕，并建立了长效机制，对产生铬渣的单位进行重点监管，每季度现场检查，基本做到了当年产生的铬渣当年处理完毕。

(2) 燃料灰渣 燃料灰渣是指煤炭开采、加工、利用过程中排出的煤矸石和燃煤电厂产生的粉煤灰、炉渣、烟道灰、页岩灰等。

(3) 化学工业固体废物 化学工业固体废物是指化学工业生产过程的种类繁多的工艺废渣，如硫铁矿烧渣、煤造气炉渣、油造气炭黑、黄磷炉渣、磷泥、磷石膏、烧碱盐泥、纯碱盐泥、化学矿山尾矿渣、蒸馏釜残渣、废母液、废催化剂等。

不同化工生产过程产生的废物差异很大。例如，氯碱化工生产过程产生的固体废物包括燃煤灰渣、废电石渣、废盐泥、含汞废活性炭、吸附器活性炭和废催化剂、水处理废污泥等；纯碱工业固体废物主要有氨碱法生产中产生的蒸氨废液，一次盐泥、二次盐泥、苛化泥及石灰返砂、碎石等，还有联合制碱法生产中产生的洗盐泥、氨泥等。

(4) 石油工业固体废物 石油工业固体废物是指炼油和油品精制过程中排出的固体废物，如碱渣、酸渣以及炼油厂污水处理过程中排出的浮渣、含油污泥等。

(5) 粮食、食品工业固体废物 粮食、食品工业固体废物是指粮食、食品加工过程中排弃的谷屑、下脚料、渣滓等。

(6) 其他 此外，尚有机械和木材加工工业产生的碎屑、边角下料、刨花以及纺织、印染工业产生的泥渣、边料等。

1.1.2.3 城市固体废物

城市固体废物是指城市居民生活、商业活动、市政建设与维护、机关办公等过程产生的固体废物，一般分为以下几种。

(1) 生活垃圾 城市是产生生活垃圾最为集中的地方，主要包括厨房废物、废纸、织物、家具、玻璃陶瓷碎片、废电器制品、废塑料制品、煤灰渣、废交通工具，近十几年废家电等电子垃圾在生活垃圾中所处的地位越来越重要。

废弃电池、废旧手机及手机充电器、废旧电子线路板、废弃电脑及家电等都是电子垃圾。电子垃圾的危害越来越大。一台电脑含有 700 多种化学材料，其中大部分是对人体有害的；一个纽扣电池泄漏后，可以污染 60 万升水，相当于 1 个人一生的饮用量。由于科技发展的加快和居民生活水平的提高，大多数居民的家电和电子产品都在使用期内进行更新换代，这就缩短了电子垃圾产品的周期，增加了电子垃圾的数量。2015 年，我国共有 106 家处理企业实际进行了废弃电器电子产品的拆解处理，拆解处理总量达 7625.4 万台，其中仅彩色电视机 CRT 屏玻璃就有 53.0 万吨，占拆解产物总重量的 31.7%。

(2) 城建渣土 城建渣土是城市固体废物的重要组成部分，它与生活垃圾、工业废物有极大的区别，它是指施工单位或个人从事建筑工程、装饰工程、修缮和养护工程过程中所产生的建筑垃圾和工程渣土。近年来随着我国城市建设的飞速发展和城市居民住宅面积的提高，我国建筑渣土的产生量大幅度增加，主要包括废砖瓦、碎石、渣土、混凝土碎块（板）等。

(3) 商业固体废物 商业活动产生的各种固体废物包括废纸、各种废旧的包装材料（袋、箱、瓶、罐和包装填充物等）、丢弃的小型工具废品、一次性用品残余等。

(4) 粪便 粪便是城市固体废物的重要组成部分。发达国家城市居民产生的粪便大都通过下水道输入污水处理厂处理。我国情况不同，城市下水处理设施少，其中一部分是通过环卫专业队伍采用特殊工具进行收集、清运。

一般，城市垃圾的组成主要受地理条件、生活习惯、居民生活水平和民用燃料结构的影响。在发展程度不同的国家，其城市居民的生活垃圾成分大不相同，详见表 1-2。

表 1-2 世界部分国家近几年城市废弃物的成分组成

单位：%

国家	年份	纸类	有机物	塑料	玻璃	金属	纺织品	其他无机物
美国	2005	34.0	25.0	12.0	5.0	8.0	—	34.0
瑞典	2005	68.0	—	2.0	11.0	2.0	—	17.0
新加坡	2005	24.3	21.4	14.9	1.4	20.0	2.0	16.0
意大利	2005	28.0	29.0	5.0	13.0	2.0	—	22.0
加拿大	2004	47.0	24.0	3.0	6.0	13.0	—	8.0

续表

国家	年份	纸类	有机物	塑料	玻璃	金属	纺织品	其他无机物
墨西哥	2006	15.0	51.0	6.0	6.0	3.0	—	18.0
印度	2004	2.8	35.0	1.6	0.9	0.3	1.0	58.0
印度尼西亚	2005	20.6	55.4	13.3	1.9	1.1	0.6	4.7
巴西	2004	12.6	59.9	15.5	3.4	1.7	1.5	5.4

注：数据来源于联合国统计司/环境规划署2004年和2006年的环境统计调查问卷，废弃物部分；经济合作与发展组织/欧盟统计局2004年环境统计调查问卷，废弃物部分；经济合作与发展组织环境数据，2006/2007年汇编，废弃物部分。

如表1-2所示，经济较发达且环保投入和成果突出的国家城市垃圾中纸类比例较大，塑料比例很小，如瑞典；而经济比较落后的国家和地区则相反，城市垃圾中无机物居多，纸类很少，如印度。发展中国家城市垃圾中除纸类、塑料之外的有机物比例明显高于发达国家，更适于堆肥处理。

1.1.2.4 农业固体废物

农业固体废物是指农业生产、畜禽饲养、农副产品加工以及农村居民生活活动排出的废物，如植物秸秆、腐烂的蔬菜和水果、果树枝、糠秕、落叶等植物废料，以及人和畜禽粪便、农药、农用塑料薄膜等。

1.1.2.5 放射性固体废物

放射性固体废物包括核燃料的生产和加工，同位素的应用，核电站、核研究机构、医疗单位、放射性废物处理设施产生的废物。如从含铀矿石提取铀的过程中产生的废矿渣；受人工或天然放射性物质污染的废旧设备、器物、防护用品等；放射性废液经过浓缩、固化处理形成的固体废物等。

这些含有放射性物质的固体废物会通过外照射或其他途径进入人体，产生内照射而危害人体健康。随着世界各国大力发展核电能源技术，放射性固体废物迅速增加，控制和防治环境中放射性固体废物的污染已成为环境保护的一项重要内容。

1.1.2.6 有害固体废物

有害固体废物，国际上称为危险固体废物 (hazardous solid waste)。这类废物泛指除具有放射性以外，还具有毒性、易燃性、反应性、腐蚀性、爆炸性、传染性而可能对人类的生活环境和健康产生危害的废物。基于环境保护的需要，许多国家将这部分废物单独列出加以管理。1983年，联合国环境规划署已经将有害废物污染控制问题列为全球重大的环境问题之一。

1.2 固体废物的污染及其控制

1.2.1 固体废物的特点和特征

(1) “资源”和“废物”的相对性 由固体废物定义可知，它是在一定时间和地点被丢弃的物质，是“放错地方的资源”。因此，此处的“废物”，具有明显的时间和空间的特征。

(2) 成分的多样性和复杂性 固体废物成分复杂、种类繁多、大小各异，既有无机物又有有机物，既有非金属又有金属，既有无味的又有有味的，既有无毒物又有有毒物，既有单质又有合金，既有单一物质又有聚合物，既有边角料又有设备配件，其构成可谓五花八门、琳琅满目。

(3) 危害的潜在性、长期性和灾难性 固体废物对环境的污染不同于废水、废气和噪

声。它呆滞性大、扩散性小，它对环境的影响主要是通过水体、大气和土壤进行的。其中污染成分的迁移转化，如浸出液在土壤中的迁移，是一个比较缓慢的过程，其危害可能在数年甚至数十年后才能发现。从某种意义上讲，固体废物，特别是危险废物，对环境造成的危害可能要比废水、废气造成的危害严重得多。

(4) 污染“源头”和富集“终态”的双重性 废水和废气既是水体、大气和土壤环境的污染源，又是接受污染物的环境。固体废物则不同，它们往往是许多污染成分的终极状态。例如一些有害气体或飘尘，通过大气污染处理技术最终被富集成废渣；一些有害溶质和悬浮物，通过水处理技术最终被分离出来成为污泥或残渣；一些含重金属的可燃固体废物，通过焚烧处理将有害金属浓集于灰烬中。但是，这些“终态”物质中的有害成分，在长期的自然因素作用下，又会流入水体、进入大气和渗入土壤中，成为水体、大气和土壤环境污染的“源头”。许多固体废物因毒性集中和危害性大，暂时无法处理，对环境和人类健康有很大的潜在威胁。

固体废物的这些特点和特性决定了其对环境和人类的危害性及危害途径，同时，人类也可以此为依据对其进行有效的控制和管理。

1.2.2 我国固体废物污染

1.2.2.1 我国固体废物产生情况

经济不断增长，生产规模不断扩大，人类需求不断提高，随之而来的是固体废物生成量也不断增加。表 1-3 为我国近几年（2011~2015 年）工业固体废物及危险废物产生量的统计数据，由表可知，我国一般工业固体废物近五年的产生量增速明显放缓，个别年份甚至略有减少，但危险废物的年产生量总体仍呈上升态势。

表 1-3 我国工业固体废物和危险废物产生量（2011~2015 年）

年 份	2011	2012	2013	2014	2015
一般工业固废/万吨	322772	329044	327702	325620	327079
工业危险废物/万吨	3431.2	3465.2	3156.9	3633.5	3976.1

注：数据来源于国家环境保护部《2015 年环境统计年报》。

1.2.2.2 我国固体废物污染现状

总体来说，我国固体废物污染情况已经得到初步遏制，但形势依然严峻。主要表现在：一般工业固体废物产生量不再大幅增长，综合利用率连续数年稳定在 60%~63%；全国城市生活垃圾无害化处置率从 2007 年的 62% 大幅提升至 2015 年的 91.8%；但另一方面，工业固体废物处置能力明显不足，大部分危险废物处于低水平综合利用或简单贮存状态，农村环境卫生明显下降，农村固体废物污染问题日益突出，垃圾围城的状况十分严重。中国堆存的垃圾至少 85% 被掩埋在农村，其产生的含重金属、细菌等的渗滤液严重污染土壤和地下水。

我国工业固体废物综合利用和垃圾无害化情况具有一定的地域性，见表 1-4，各部分地区的经济发展水平为主要影响因素。

表 1-4 我国各部分地区工业固体废物综合利用和垃圾无害化情况（2014 年）

地区	东部地区	中部地区	西部地区	东北地区	全国总计
工业固体废物综合利用量/亿吨	6.54	5.91	6.14	1.82	20.43
城市生活垃圾无害化处理率/%	95.0	94.3	91.0	74.8	91.8
农村无害化卫生厕所普及率/%	72.3	48.0	49.34	22.98	55.18

注：数据来源于国家统计局环境统计数据（2014 年）。

1.2.3 固体废物污染途径

固体废物在一定条件下会发生化学的、物理的或生物的转化，对周围环境造成一定的影响，如果采取的处理方法不当，其中的有毒有害物质就会通过环境介质——大气、土壤、地表或地下水进入生态系统，破坏生态环境，甚至通过食物链等途径危害人体健康。

通常，工矿业固体废物和电子垃圾等所含化学成分能形成化学物质型污染；人畜粪便和有机垃圾是各种病原微生物的滋生地和繁殖场，能形成病原体型污染。化学型污染的途径见图 1-2；病原体型污染的途径见图 1-3。

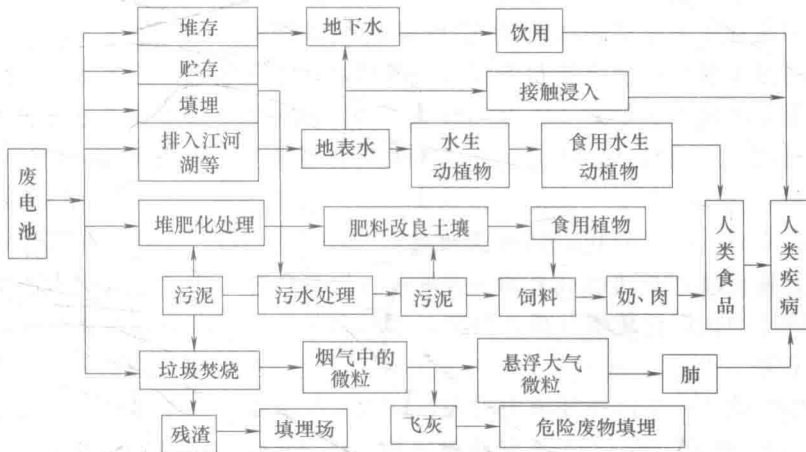


图 1-2 化学物质型固体废物致病的途径

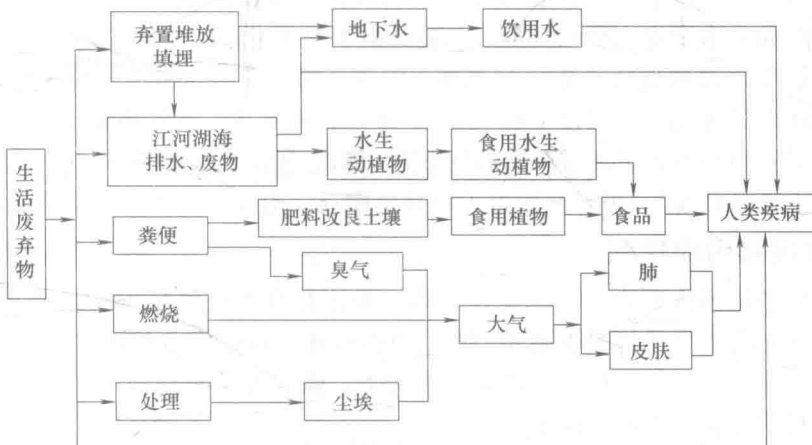


图 1-3 病原型固体废物传播疾病的途径

1.2.4 固体废物污染危害

鉴于固体废物的特点和特性，其对环境和生态的污染主要表现在以下几个方面。

(1) 污染水体 不少国家把固体废物直接倾倒入河流、湖泊、海洋中，甚至以海洋投弃作为一种处置方法。固体废物进入水体，不仅减少江湖面积，而且严重影响水生生物的生存和水资源的利用，投弃到海洋中的废物会在一定海域范围内造成生物的死区。

(2) 污染大气 固体灰渣中的细粒、粉末经风吹日晒产生扬尘，污染周围大气环境。粉煤灰、尾矿堆放场遇 4 级以上风力可剥离 1~41.5cm，灰尘飞扬高度达 20~50m，在多风季