

李为民 主 编  
陈 乐 缪春宝 张 琪 副主编



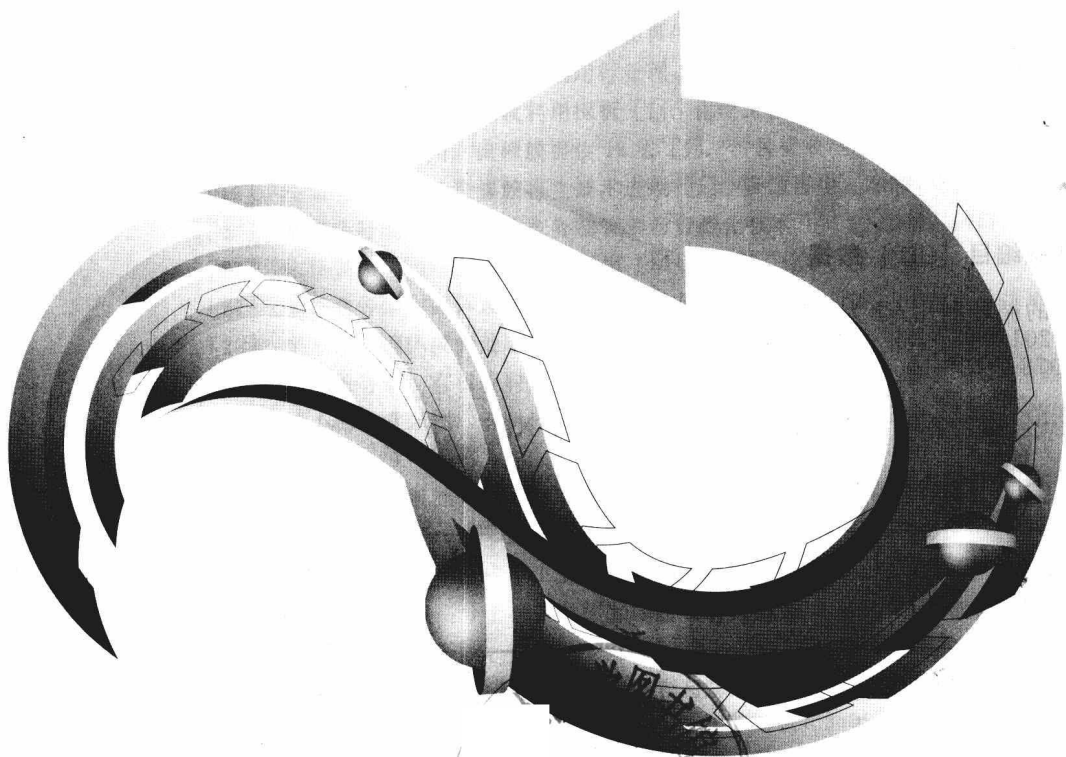
# 废弃物的循环利用



化学工业出版社

李为民 主 编  
陈 乐 缪春宝 张 琪 副主编

# 废弃物的循环利用



化学工业出版社  
· 北京 ·

本书详细介绍了固体废弃物、液体废弃物、气体废弃物的处理方法和循环利用技术。全书共分四章，主要介绍了可降解和难降解固体废弃物的循环利用；废油、废有机物、废水等液体废弃物的循环利用；无机及有机气体废弃物的循环利用等内容，并结合近年来废弃物回收研究的最新进展，强调各类废弃物回收利用的工程应用性及所带来的经济效益。信息量大、覆盖面广。

本书可作为一般工科院校化工与制药类专业本科生教材，也可供废弃物回收利用领域中从事科研、设计和生产的科技人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

废弃物的循环利用/李为民主编. —北京: 化学工业出版社, 2011.4  
ISBN 978-7-122-10668-1

I. 废… II. 李… III. 废弃物综合利用 IV. X7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 034908 号

---

责任编辑: 曾照华

文字编辑: 冯国庆

责任校对: 宋 玮

装帧设计: 杨 北

---

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: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19½ 字数 489 千字 2011 年 6 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: 45.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

人类在发展经济和创造财富的同时，不可避免地对地球的自然资源进行了掠夺和过度开采，影响了生态平衡，生产和生活产生的废弃物给环境带来现实和潜在的污染危害日趋严重，威胁了我国社会经济的可持续发展。在这种情况下，有必要在循环经济的理念指导下，“变废为宝，化害为利”，节约资源消耗，减少废弃物排放，加强废弃物的回收循环再利用。

我国的废弃物资源十分丰富，主要来源于生产过程中所产生的废弃物及产品在流通过程中或使用过程中产生的废弃物。废弃物按其组成可分为有机废弃物和无机废弃物；按其形态可分为固体（或半固体）废弃物、液体废弃物和气体废弃物。本书的内容主要包括：固体废弃物的循环利用（含有机可降解废弃物、建筑废弃物、包装与塑料废弃物、工业固体废弃物等）；液体废弃物的循环利用（含废油、液体有机废弃物、废水等）；无机及有机气体废弃物的循环利用；此外，本书还加入了一些近年来研究进展迅速、应用前景良好的新型技术。

本书可作为化工与制药专业、应用化学、轻化工程等本科专业的教材，也可作为相关企业、技术部门工程技术人员的参考书籍。

全书共分四章，参加编写的人员有：缪春宝（第一、二章）、李为民（第三章第2节）、张琪（第三章其他章节）、陈乐（第四章），陈乐、李为民对全书进行了统稿和审核。

本书减少了废弃物处理过程的理论与机理分析内容，增加了一些工程实例，加强了对废弃物循环利用项目产业化开发方面的介绍，提倡理论联系实际，以提高学生分析问题和解决问题的能力，期望能激发学生学习的兴趣。

本书在编写过程中，参考了国内外出版的大量相关的书籍及最新的期刊论文，并结合常州大学具有代表性的研究开发项目，把一些最新研究成果融入本教材中。在本书编写过程中陆燕青老师提供了宝贵的经验和素材，在此表示深深的感谢。

由于编者学识所限，书中缺点和不妥之处在所难免，恳请读者批评、指正。

编者  
2010年10月

# 目 录

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第 1 章 概论               | 1  |
| 1.1 废弃物的概念             | 1  |
| 1.2 废弃物的来源、分类和特征       | 1  |
| 1.3 废弃物对环境的影响          | 2  |
| 1.4 循环经济与循环利用          | 4  |
| 1.5 世界各国废弃物的治理现状       | 7  |
| 1.5.1 日本“废弃物”的处理       | 7  |
| 1.5.2 美国“废弃物”的处理       | 9  |
| 1.5.3 德国“废弃物”的处理       | 10 |
| 1.5.4 我国“废弃物”的循环利用     | 11 |
| 第 2 章 固体废弃物的循环利用       | 14 |
| 2.1 固体废弃物的概念、分类与治理现状   | 14 |
| 2.1.1 概念               | 14 |
| 2.1.2 固体废弃物分类          | 14 |
| 2.1.3 世界各国固体废弃物治理现状    | 14 |
| 2.2 可降解有机固体废弃物的循环利用    | 16 |
| 2.2.1 有机可降解固体废弃物的来源和种类 | 16 |
| 2.2.2 有机可降解废弃物堆肥技术     | 18 |
| 2.2.3 有机可降解废弃物厌氧发酵技术   | 24 |
| 2.3 难降解有机固体废弃物的循环利用    | 28 |
| 2.3.1 废纸及纸制品的回收利用      | 28 |
| 2.3.2 废旧塑料的分离与循环利用     | 36 |
| 2.3.3 废旧橡胶的回收利用        | 50 |
| 2.3.4 废旧纤维的回收利用        | 58 |
| 2.3.5 废旧皮革的回收利用        | 61 |
| 2.4 其他固体废弃物的循环利用       | 64 |
| 2.4.1 矿业固体废弃物的循环利用     | 64 |
| 2.4.2 冶金固体废弃物的循环利用     | 72 |
| 2.4.3 粉煤灰的循环利用         | 81 |
| 2.4.4 废旧金属的再生利用        | 85 |
| 2.4.5 建筑废弃物的循环利用       | 91 |
| 2.4.6 废玻璃的循环利用         | 94 |

|            |                         |            |
|------------|-------------------------|------------|
| 2.4.7      | 电子废弃物的循环利用 .....        | 101        |
| 2.4.8      | 废电池的资源化 .....           | 109        |
| 2.4.9      | 废旧交通工具的回收利用 .....       | 119        |
| 2.4.10     | 医疗废弃物的处理和利用 .....       | 122        |
| <b>第3章</b> | <b>液体废弃物的循环利用 .....</b> | <b>128</b> |
| 3.1        | 概述 .....                | 128        |
| 3.2        | 废油的循环利用 .....           | 128        |
| 3.2.1      | 概述 .....                | 128        |
| 3.2.2      | 废油的物理再生净化法 .....        | 131        |
| 3.2.3      | 废油的物理化学再生法 .....        | 142        |
| 3.2.4      | 废润滑油的再生利用 .....         | 150        |
| 3.2.5      | 废液压油的再生利用 .....         | 153        |
| 3.2.6      | 废机械油的再生利用 .....         | 155        |
| 3.2.7      | 废变压器油的再生利用 .....        | 158        |
| 3.2.8      | 废柴油机油的再生利用 .....        | 163        |
| 3.2.9      | 废餐饮油的再生利用 .....         | 167        |
| 3.3        | 废有机溶剂的再生利用 .....        | 171        |
| 3.3.1      | 蒸馏法再生废有机溶剂 .....        | 172        |
| 3.3.2      | 活性炭吸附法再生废有机溶剂 .....     | 174        |
| 3.3.3      | 溶剂萃取法再生废有机溶剂 .....      | 174        |
| 3.3.4      | 超滤法再生废有机溶剂 .....        | 175        |
| 3.3.5      | 废碱液中有有机溶剂再生技术 .....     | 176        |
| 3.4        | 废水的循环利用 .....           | 176        |
| 3.4.1      | 石油化工废水的循环利用 .....       | 176        |
| 3.4.2      | 钢铁工业废水的循环利用 .....       | 185        |
| 3.4.3      | 电镀废水的循环利用 .....         | 190        |
| 3.4.4      | 含重金属废水的循环利用 .....       | 199        |
| 3.4.5      | 造纸工业废水的循环利用 .....       | 206        |
| 3.4.6      | 纺织印染工业废水的循环利用 .....     | 214        |
| 3.4.7      | 制革工业废水的循环利用 .....       | 223        |
| 3.4.8      | 含酚废水的循环利用 .....         | 232        |
| 3.4.9      | 啤酒废水的循环利用 .....         | 239        |
| 3.4.10     | 小区生活废水的循环利用 .....       | 242        |
| <b>第4章</b> | <b>气体废弃物的循环利用 .....</b> | <b>247</b> |
| 4.1        | 工业废气的概述 .....           | 247        |
| 4.1.1      | 气体废弃物的分类与来源 .....       | 247        |
| 4.1.2      | 工业废气净化回收原理 .....        | 247        |
| 4.2        | 含无机气体废弃物的循环利用 .....     | 249        |

|                   |                         |            |
|-------------------|-------------------------|------------|
| 4.2.1             | 含硫废气的循环利用 .....         | 249        |
| 4.2.2             | 含氮氧化物废气的循环利用 .....      | 260        |
| 4.2.3             | 含氟废气的循环利用 .....         | 265        |
| 4.2.4             | 含一氧化碳、二氧化碳废气的循环利用 ..... | 272        |
| 4.2.5             | 其他含无机物废气的循环利用 .....     | 280        |
| 4.3               | 含有机化合物废气的循环利用 .....     | 284        |
| 4.3.1             | 概述 .....                | 284        |
| 4.3.2             | 含烃及其衍生物废气的循环利用 .....    | 286        |
| 4.3.3             | 含卤代烃类废气的循环利用 .....      | 292        |
| 4.3.4             | 含氧有机物废气的循环利用 .....      | 296        |
| 4.3.5             | 其他有机化合物废气的循环利用 .....    | 298        |
| 4.3.6             | 有机废气循环利用新技术 .....       | 300        |
| <b>参考文献</b> ..... |                         | <b>305</b> |



# 第 1 章 概 论

## 1.1 废弃物的概念

废弃物，是城市的附属物，城市的运转每年将产生上亿吨的废弃物。人类文明的发展主要依赖开发和利用煤、石油、天然气等化石燃料资源以及水、土地、生物等自然资源，因此不可避免地要产生废弃物，并且任何产品经过使用和消费后都会变成废弃物。

自然界本不存在永久性废弃物，废弃物之所以存在，归因于时间、空间等限制物质能量交换的客观因素。由于人类生存和生活的需要，使部分物质和能量脱离原有系统进入另外一个物质能量循环系统，从而打破了原本平衡的两个物质能量系统，最终在被输入物质和能量的系统中产生了废弃物。从时间上来讲，它表示相对目前的科学技术和经济条件，一时无法利用，但随着科学技术的发展，自然资源的日益枯竭无法满足人类的需要，废弃物必然将成为明日的资源；从空间上来讲，废弃物仅仅相对于某一过程或方面没有使用价值，而不是一切过程和方面都没有使用价值，某一过程的废弃物也可能是另一过程的原料。因此，废弃物具有双重性，它既可能污染环境又可被回收利用（称为可再生资源）。

## 1.2 废弃物的来源、分类和特征

废弃物的来源总体上可以分为两类：一类是生产过程中所产生的废弃物，称为生产废弃物；另一类是在产品进入市场，在流动过程中或使用过程中产生的固体废弃物，称为生活废弃物（垃圾）。

生活废弃物即垃圾，它最贴近人们的生活，是城市居民生活、商业和市政维护管理中丢弃的固体废弃物，是由家庭生活废弃物和来自商场、市场、办公室等具有相似特性的废物组成的，如厨房垃圾、装潢建筑材料、包装材料、废旧器皿、废家用电器、树叶、废纸、塑料、纺织品、玻璃、金属、灰渣、碎砖瓦、废土、城市生活污水处理厂的污泥和居民粪便等。人们每天都在产生废弃物、排放废弃物，同时也在无意识地污染自身的生存环境。我国城市仅生活废弃物人均年产量就达 440kg，城市废弃物年产量达 1.5 亿吨，占世界废弃物产量的 25.6%。城市废弃物历年堆存量高达 60 多亿吨，侵占土地 5 万多公顷，有 2/3 的大中城市陷入废弃物的包围之中，有 1/4 的城市不得不把解决垃圾危机的途径向农村延伸，“清洁城市，污染了农村”，严重影响了城市环境系统等。生产废弃物，包括工业、农业、畜牧业等废弃物等。工业废弃物，是工业生产过程中排入环境的各种废渣、粉尘及其他废物，可分为一般工业废弃物（如高炉渣、钢渣、赤泥、有色金属渣、粉煤灰、煤渣、硫酸渣、废石膏、盐泥等）和工业有害固体废物。工业废弃物种类繁多，成分复杂，处理相当困难。据统计，全球采掘工业每年排放的工业固体废物总量达数百亿吨，若是将它们消极堆放，不仅占用土地，污染土壤、水源和大气，而且影响作物生长，最终导致危害人体健康和自然环境的



破坏。

废弃物按组成又可分为有机废弃物和无机废弃物；按其污染特性可分为有害废弃物和一般废弃物等；按废弃物的形态可将其分为固体（半固体）废弃物、液体（废油、废水、废有机溶剂等）废弃物和气体废弃物。

**(1) 固体废弃物** 固体废弃物指人类在生产建设、日常生活和其他活动中产生的，在一定时间和地点无法利用而被丢弃的，以固态、半固态存在的物质。固体废弃物来源于人类在生产和生活中丢弃的废弃物，如矿业生产中废弃的尾矿、煤矸石；工业生产中的高炉渣、钢渣；农业生产中的秸秆、人畜粪便；核工业及某些医疗单位的放射性废料；城市废弃物等。若不及时处理这些废弃物，必然会对大气、土壤、水体造成严重污染，导致蚊蝇孳生、细菌繁殖，使疾病迅速传播，危害人体健康。

**(2) 液体废弃物** 液体废弃物主要包括废油、废水及废有机溶剂。生活中的废油主要来源于餐饮废油，包括地沟油及多次煎炸食物后的废油。地沟油是指从宾馆、酒楼的地沟隔油池中捞取油腻漂浮物或直接将剩饭、剩菜（通称泔水）收集后经过简单加热、分层、脱水、去渣、中和及沉淀等工艺提取出来的油脂；工业上产生的废油大体可分为废汽油机油、废柴油机油、废煤油（柴油、汽油）、废齿轮油、废润滑油等。废水是指在使用过程中混入各种污染物，导致使用价值丧失而废弃排放的水。当排放废水中的污染物在数量上超出了水体的自净能力，此时水体的物理、化学和生物特征将发生不良变化，从而破坏了水体中固有的生态系统以及水体的正常功能之时，就导致了水污染。水污染有两类：一类是自然污染；另一类是人为污染。废有机溶剂主要来源于现代工业领域，包括化工、涂料、印刷、制药、造纸、纺织等行业，在这些工艺生产过程中会产生大量的废有机溶剂，大多废有机溶剂由于具有易燃、腐蚀、易挥发等特性而被列为一类危险废弃物。

**(3) 气体废弃物** 气体废弃物一般称为废气，产生于人类活动或自然过程，直接或经过处理后排入大气。当废气进入大气中达到足够多的时间，呈现出足够高的浓度，以至于破坏生态系统和人类正常生存及发展的条件，对人或物造成危害时，就会导致大气污染。大气污染物也包括天然污染物，但引起公害的往往是人为污染物。

### 1.3 废弃物对环境的影响

当人们随手扔掉一张废纸、一次性塑料饭盒或是一节废旧电池的时候，当人们将废弃物未分类就将其统统扔到垃圾桶的时候，人们是否意识到这样的行为对环境和资源带来的影响？

固体废弃物对环境的污染表现在以下几方面。

① 污染水体：如垃圾、废渣随地表径流进入地面水体；垃圾、废渣中的渗漏水通过土壤进入地下水体；细颗粒固体废弃物随风飘扬落入地面水体；将废弃物直接倒入湖泊、河流和海洋等。

② 污染大气：如细颗粒的废弃物随风扩散到大气中；固体废弃物本身或者在焚化时散发毒气和臭气等。

③ 污染土壤：如固体废弃物及其渗出液和滤沥所含的有害物质进入土壤，改变土壤性质和结构，影响土壤微生物活动，有碍植物根系生长。

目前，有 110 个国家的可耕地的肥活程度在降低。在非洲、亚洲和拉丁美洲，由于森林

植被的消失、耕地的过分开开发和牧场的过度放牧，土壤剥蚀情况十分严重。废弃物的清理成了各大城市的重要问题，每天千万吨的垃圾中，有很多是不能焚化或腐化的，如塑料、橡胶、玻璃、建筑、金属等，它们构成了城市卫生的第一号敌人。

大多数废油是有毒物质，是危险废物，如果一桶废油倒入水体就会污染 3 平方公里水面，造成植物、鱼类、贝类和水鸟的死亡。实际上，废油中含大量有机物，具有污染和回收利用双重性。废油再生不仅是解决资源短缺问题，更是保护环境、造福人类的问题。只要对废油正确收集、保管，然后加以再生，废油是完全可以利用的。对废油进行合理回收利用，实现变废为宝，早已被人们所认识。20 世纪 40~50 年代，在欧洲和美国等发达国家和地区，就开始废油再生，并逐步完善，通过立法、财政补贴、减免税等措施，使废油再生行业健康发展。目前将废油重新炼制加工为基础油，已成为欧洲废油再生工业的目标。欧洲废油再生工业集团（GEIR）的最新统计数据表明，欧洲废油再生行业每年生产 45 万吨基础油，年销售额达 2.95 亿~3.69 亿美元。我国润滑油和基础油市场依然长期良好，而国产油又满足不了市场的需要，仍需要进口来补充。据预测，以后每年将进口 200 万吨以上。如果将国内的废油加以再生利用，完全可以解决这部分缺口，并可以解决环保问题。

水是自然界最普遍存在的物质之一，是人类赖以生存和发展的重要物质基础，没有水就没有生命。现代化社会的发展产生了大量废水。我国水资源开发利用程度很高，由此引发的生态环境问题非常严重，特别是黄河、淮河、海河的废水利用率已达 50% 以上，超过世界公认的极限值。农业用水的比重高于发达国家 50% 的平均水平。地下水过度开采，引起地面沉降、海水入侵、海水倒灌等一系列环境问题。全国已经出现区域性地下漏斗 56 个，总面积大于  $8.2 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，地层沉陷的城市达 50 个，其中北京的沉降面积达  $8.0 \times 10^5 \text{ m}^2$ ，环渤海平原区由于海水倒灌影响面积已达  $1.86 \times 10^6 \text{ m}^2$ 。我国淡水资源十分匮乏，水资源短缺和供需矛盾已经成为我国经济可持续发展和改善生态环境的主要制约因素之一。城市污水是水量稳定及可靠的一种潜在的淡水资源。城市污水如果不加净化，随意排放将造成严重污染，使大量优质水变成劣质水。然而污水同时也是非常宝贵的资源，如能去除其污染物，改善水质后加以利用，则可取得多种效益。城市污水的循环利用已经成为不少国家解决水资源短缺的战略性对策。尤其是在缺水国家，人们已经认识到污水作为二次水源的必要性。污水处理不仅可以充分利用可再生资源，其状况和水平也是一个国家或城市文明和现代化程度的重要标志。西方发达国家由于工业化进程快，经济技术力量雄厚，污水处理产业发展也较早。美国的污水利用范围很广，涉及了城市循环利用、工业循环利用、农业循环利用等各方面。新加坡的科学家能成功地将污水转变为新的、干净的、安全的饮用水，由于这个国家的每个城市角落都被连接到一个单一的污水处理系统，所以只要其居民冲厕所或打开水龙头，就总会有污水被收集起来，并且被处理和再利用。这种循环再生水在新加坡被称为“新水”，这种新生水是新加坡的四大水源之一，约能满足该国 7% 的用水需求，新加坡的公用事业局甚至将“新水”装入塑料瓶，提供给公众消费。这些循环水再利用方面的经验非常值得借鉴。污水资源的再生利用是当今社会发展的必然趋势。

气体废弃物较其他形式的污染更为普遍，它的危害所涉及的范围更为广泛。气体污染物在空气中散布的自由度大，难于及时监测，排放物的毒害作用带有一定的突然性，对处于该环境中的人员的健康和安全有很大的危害。此外，含有某些有害物质的废气超过一定浓度，就有爆炸和起火的危险，将给生产安全带来隐患。大气污染物种类繁多，迄今为止对它还没有很完全、确切的统计。已经产生危害或者已为人们所注意的已达数百种以上，其中排放量

大、影响范围广并且对人类环境威胁较大的有烟雾、粉尘、硫氧化物、氮氧化物、一氧化碳和碳氢化合物以及其他生产过程排出的硫化氢、含氟废气等。如今，工业生产所要求的治理有害气体的方法，已成为对所有生产工艺过程的必然要求。这不仅消除有害气体对环境的危害，而且能够最大限度地将其重新应用于工业生产。为了消除气体污染，首先必须使用合适的废气收集工艺方法，工业废气的处理需要专门的工艺装置，由于设备复杂、动力消耗大、投资回收率低，再加上经济政策方面的要求不断提高，因此必须把废气的净化与废弃物的回收利用结合起来。气体废弃物中资源回收利用与回收物品的性能直接相关，如果一种生产的废弃物可以作为另一种生产的原料，则既可节省利废工程的投资，又可解决再生原料的利用问题，最终获得较好的经济效益和环境效益。

## 1.4 循环经济与循环利用

20世纪60年代中期，美国经济学家鲍尔丁在其提出的“宇宙飞船理论”中指出：“地球就像一艘在太空中飞行的宇宙飞船，要靠不断消耗和再生自身有限的资源而生存，如果不合理开发资源，肆意破坏环境，就会走向毁灭。”在其发表的《宇宙飞船经济观》一文中，把污染视为未得到合理利用的“资源剩余”。当今资源环境问题是发展引起的，由发展引起的资源环境问题也必须由发展来解决，这就需要改变传统经济的运行模式，也就是采用循环经济模式。循环经济就是在可持续发展的思想指导下，按照清洁生产的方式，对能源及其废弃物实行综合利用的生产活动过程。它要求把经济活动组成一个“资源→产品→再生资源”的反馈式流程；其特征是低开采、高利用和低排放，其本质上是一种生态经济，它要求运用生态学规律来指导人类社会的经济活动。循环利用是循环经济的基础以及废旧产品利用追求的目标，循环利用这一概念最先是德国政府在其1991年制定的《包装条例》中提出，对其具体含义有人理解为：它不仅包括将生产或消费过程中排出物作为再生资源回收再利用，还包括不可再生利用的废弃物以自然分解、净化的方式循环并被自然界再利用。还有人则将循环利用的含义定义为：在一个循环系统中产品或者其中一部分的重新使用及处理，循环系统产生二次原材料并通过这种途径节约资源、减少废物，从而降低对环境的污染程度。现今，循环利用的概念被定为：将在社会生产和消费过程中产生的可回收利用废旧物资进行回收加工，重新创造价值从而再利用，即形成“资源→产品→废物→再生资源”的资源循环利用模式的过程。循环利用最终想要达到的理想状态应是资源利用和环境状况两方面皆良好的状态。

**(1) 循环利用中资源节约的理想状态** 经过人为的规范与行动，将废旧产品通过各种渠道回收，然后对其进行一系列的加工、再利用，使其重新拥有与原来相同或不同的作用并具有价值，成为新的产品，达到对废旧产品的资源化，并将这个过程循环往复，形成一个“产品→废旧产品→新产品（再生资源）”的良性循环，从而避免了浪费大量的新资源。

**(2) 循环利用中环境状况的理想状态** 循环利用若要达到应然状态，其中必将包含对环境保护的促进作用，具体来说要做到：全面回收废弃、废旧产品，防止因废弃物的随意丢弃对环境造成影响，尤其是废旧电池一类危险废弃物；循环利用废旧资源，避免为获得新资源而造成更多生产从而破坏环境，循环利用还间接保护了环境，给人类提供良好的生存环境。只有将“资源→产品→污染排放”的单向线性传统经济转变为“资源→产品→再生资源”的循环经济模式，才能治理我国城市废弃物对人类生存环境的严重危害，才能有效解决我国资

源短缺，实现人和自然和谐共生的目标。

落实科学发展观，大力发展循环经济，已成为我国进入社会经济发展新阶段的鲜明时代特征。废弃物资源化利用是推进生态文明建设的重要途径。人们高强度地把自然界的物质和能源开采出来，最后又把大量的废弃物排放到自然界，形成“高开采、低利用、高排放”的经济特征。循环经济则要求把经济活动组成一个自然资源开发→物品生产、消费或旧物再用→废弃物再生资源的反馈式流程，以资源循环的方式进行物质交换，以最大限度利用进入系统的物质和能量，达到“低开采、高利用、低排放”，把经济活动对自然环境的影响尽可能降到最小。循环经济遵循减量化（reduce）、再使用（reuse）和再循环（recycle）的原则（简称“3R”原则），其主要内容如下。

**(1) 减量化原则** 要求用较少的原料和能源投入达到既定的生产目的，减少进入生产过程中物质和能源流量，延长和拓宽生产技术链，充分利用进入生产中的资源，减少生产中废弃物的排放；尽可能选用能够回收利用的材料和结构，减少最终无害化的处置量。在生产中，常常表现为要求产品体积小量化和重量轻型化，产品包装简单朴实而不是豪华浪费。

**(2) 再使用原则** 要求产品能够以初始的形式被多次和反复使用，延长产品使用时间，避免物品过早地废弃。延长产品的使用时间，一是持久使用，即通过延长产品的使用寿命来降低资源消耗的速度；二是集约使用，即使产品的利用达到某种规模效应，从而减少分散使用导致的资源浪费。

**(3) 再循环原则** 要求产品在完成其使用功能后尽可能重新变成可重复利用的资源，以减少最终处理量和原生资源的开采。废弃物的资源化有两种方式。

① **原级资源化** 即将废弃物生成与原来相同的产品，如将废纸生成再生纸，废玻璃生成新玻璃，废钢生成再生钢。这种方式的利用，可以减少原材料量的20%~90%。

② **次级资源化** 即将废弃物变为与原来不同的新产品。这种利用方式，可减少原材料量的25%。只有当避免产生和回收利用在许可条件下均不能实现时，才最终进行环境无害化处理或处置。

日本学者最早提出了“静脉产业”一词，他们把废弃物排出后的回收、再资源化相关领域形象地称为静脉产业，就如同人体血液循环中的静脉一样。静脉产业即资源再生利用产业，是以保障环境安全为前提，以节约资源、保护环境为目的，运用先进的技术，将生产和消费过程中产生的废物转化为可重新利用的资源和产品，实现各类废物的再利用和资源化的产业，包括废物转化为再生资源和将再生资源加工为产品两个过程。作为解决废弃物快速增长的一种良好途径，静脉产业将成为21世纪具有相当潜力的产业之一，在成为新的经济增长点的同时还可以解决中国现阶段的就业问题。

在可持续发展思想的指导下，发达国家日益将循环经济的理念贯彻到资源的开发利用当中去，其中德国和日本以发展静脉产业为主要实践方式，通过静脉产业尽可能地把传统的“资源→产品→废弃物”的线性经济模式改造为“资源→产品→再生资源”的闭环经济模式，减少对原生自然资源的开采，注重资源的循环利用，从而把经济系统对自然生态系统的影响降低到最低程度。通过比较分析德国和日本静脉产业的发展历程，总结如下几方面的成功经验。

**(1) 法律体系** 完备的立法和严格的执法是根本保障。德国和日本在发展静脉产业，构建循环型社会方面的立法都处在世界的顶级行列。日本的立法具有规划性，采取了基本法统率综合法和专门法的模式，其基本法律体系分为三个层次：第一是基本法层面，包括《环境

基本法》和《循环型社会形成推进基本法》；第二是综合法层面，包括《固体废弃物处理和公共清洁法》和《资源有效利用促进法》；第三是各种专项法层面，如《容器包装分类回收及再生利用促进法》、《特定家用电器再生利用法》等。在日本，2000 年仅回收和再资源化事业一项的产值就高达 21 兆日元，创造了 57 万个就业机会。

德国的相关立法体系包括宪法、普通专项法律、条例和指南四个层次。1996 年《循环经济与废物法》生效，成为德国建设循环型社会的总纲性专项法律，是静脉产业法律体系的核心。其强调生产者的责任和意识，要其生产者对其产品的整个生命周期负责，规定废弃物的管理原则是：避免产生→循环使用→最终处置。在这一法律框架下，不同的行业有不同的循环经济法，如《饮料包装押金规定》、《废旧汽车处理规定》、《废旧电池处理规定》、《废木料处理办法》等。在德国，静脉产业已经成为一个重要的产业，每年就有约 410 亿欧元的营业额，并可创造 20 多万个就业机会。

**(2) 政策体系** 由于正常的市场机制不能很好地反映自然资源的价值，所以为促进静脉产业的发展，德国和日本都制定了相应的优惠政策。日本方面制定的主要政策有：税收优惠政策（如对废旧塑料制品类再生处理设备在使用年度内除普遍退税外，还按取得价格的 14% 进行特别退税；企业设置资源回收系统，由非赢利性的金融机构提供中长期优惠利率贷款）、价格优惠政策（如规定废旧物资要实行商品化收费，即废弃者应该支付与废旧家电收集、再商品化等有关费用）、生态工业园区补偿金制度（国家对入园企业给予初步建设经费总额 1/3~1/2 的经费补助，地方政府也有一定的补贴）、政府奖励政策（日本设立资源回收奖，旨在提高市民参与回收有用废弃物的积极性）。

德国方面制定的主要政策有：垃圾收费政策（与日本的废旧物资商品化收费政策相仿，欧洲许多国家都采用了垃圾收费政策）、押金返还制度（在德国的《软料容器实施强制押金制度》和《包装条例》中都有所规定）、生态税（对那些使用了对环境有害的材料和消耗了不可再生资源的产品另加的一种税）。

**(3) 社会回收组织** 提到社会回收组织（公司）必然首先想到德国的双向系统 Duales System Deutschland，简称 DSD，其拥有专用商标——“绿点”（Der Greune Punkt），故也称为绿点公司。该公司是一家主要负责管理全国包装废物回收再利用的非赢利民间组织，还负责社区黄色垃圾箱和垃圾袋中垃圾的收集、分类、回收和再利用，处理费用由获得“绿点”标志认证的企业或销售商支付。德国的 WEEE（废旧电子电器）回收处理行业也有很多社会上的公司，如 RDE 公司，该公司主要从事 WEEE 的拆解、分类和破碎等工序。日本相对而言这方面的典型成功案例少一些，但也有一些民间团体在获得有关部门的许可并得到一定的资助后进行资源回收活动。

**(4) 绿色采购** 这方面日本最具影响力，通过政府的绿色采购来启动和引导市场需求。2001 年 4 月，随着《绿色采购法》的实施，日本国家机关和地方政府等单位就承担了优先购买环境友好型产品的义务。该法案规定所有中央政府所属机构都必须制定和实施年度绿色采购计划，并向环境部长提供报告，地方政府也要尽可能制定和实施年度绿色采购计划，这不仅促使在政府购买中环境产业产品占据主导地位，对公众的绿色消费意识也起到了示范作用，为静脉产业创造了巨大的市场需求。2005 年底日本已有 83% 的公共和私人组织实施了绿色采购。

1979 年德国开始推行环境标志制度，规定政府机构优先采购带有环境友好标志的产品，1994 年通过的循环经济法中做了原则规定，要求政府采购和使用环境友好型产品及服务。

自德国和日本实施政府绿色采购以来，世界各国纷纷响应，政府绿色采购迅速发展，至2005年底，已有50多个国家实施绿色采购。

**(5) 环境教育** 一种新的社会发展模式能否在一个国家顺利实施，受该国的国民价值观、道德观的影响很大，国民的积极参与是建立新发展模式的必要条件。另一方面，企业的生存依赖消费者，那么在有经济利益的前提下，消费者的消费取向决定了企业的生产方向，故消费者的环保意识提高对企业环境意识的提高有着很大的促进作用。因此环境教育对于德国和日本静脉产业的发展起着重要的作用。通过加强对学校、企业、社会各个层次多渠道的教育，德国和日本为本国静脉产业的发展打下了良好的公众基础，消费者的绿色消费意识和企业的环境意识都得到了明显提高。

在日本，人们把将废弃物转换为再生资源的企业形象地归入“静脉产业”，因为这些企业能使生活和工业垃圾变废为宝、循环利用，如同将含有较多二氧化碳的血液送回心脏的静脉。目前，日本“静脉产业”已初步形成了三个主要发展方向，即分别把生活垃圾转换成家畜饲料、有机肥料或燃料电池用燃料。在我国，垃圾回收工作一直被认为是“下等工作”，叫他们是“收破烂儿的”。从事这项工作的一般全是农民和社会底层人员，而废品收购厂也被排斥在城市的城乡结合部，全是一些没有正规经营的“黑窝点”，不仅没有能力把废品进行分类回收，还造成了垃圾的二次污染。

在世界6000亿美元的环保产业市场中，日本占了3862亿美元，美国占了1000亿美元，我国只占200亿美元。德国废弃物的年均营业额约410亿美元，并创造了20万个就业机会。发展循环经济，搞好废弃物回收利用，在我国发展循环产业中将具有巨大的发展空间和广阔的前景。

## 1.5 世界各国废弃物的治理现状

### 1.5.1 日本“废弃物”的处理

日本称生活垃圾等为“废弃物”。日本现行的《废弃物处理法》把废弃物分为工业废弃物和一般废弃物。工业废弃物是指随企业生产活动、经营活动而产生的废弃物，又分为特别管理工业废弃物和其余的废弃物。前者是指具有爆炸性、毒性、传染性的以及可能对人体健康或生活环境带来危害的废弃物，剩下的就是其余废弃物。一般废弃物是指居民日常生活中产生的生活垃圾和没有被列入工业废弃物的一般废弃物由自家或者专门处理公司处理。工业废弃物由经营者处理。在处理过程中，日本以减少最终填埋量为目的，明确提出了“3R”原则，即减量控制、回收利用和循环再利用。资料显示，在日本每年的工业废弃物中，真正需要通过燃烧或填埋等最终处理的只占工业废弃物总量的11%；在一般废弃物即生活垃圾中，需要最终处置的只占一般废弃物总量的20%。

在日本，生活废弃物是分类收集、分类处理的。每户家庭的墙上都贴有两张时刻表：一张是电车时刻表；另一张就是垃圾回收时间表。垃圾要分类、要定时定点丢弃已经是家喻户晓的规矩。租住房屋时，房东除了交付钥匙，还会转交一个小册子，里面除了介绍公寓设施及相关管理规定外，还附有详细的垃圾分类及回收时间、方法。许多地方的政府网站都会介绍垃圾分类的相关知识，甚至会附一份详尽的分类列表，把居民日常生活中可能遇到的几乎所有物品的分属都列得明明白白。居民根据当地政府的规定，在每周固定的时间用标准的垃

圾袋摆放在固定的地点。日本国土狭小，城市居民密集，不适合修建大量垃圾站。及时地处理垃圾，保证了城市的整洁。特别是夏天，由于垃圾从居民家中直接被运往垃圾处理厂，在城市街道停留时间极短，避免了垃圾因腐烂而发出异味，也避免乌鸦等鸟类啄破垃圾袋，破坏环境。

日本在生活废弃物处理上，坚持“排放者责任”原则，即增加环境负荷的经济主体负有处理废弃物的责任。在生活废弃物的收集、运输和处理上，日本实行垃圾从量制，即根据垃圾的实际排放量收取其费用。并通过购买指定有偿垃圾袋的间接方式实施的制度，赋予了居民减少生活垃圾的数量及分类排出生活垃圾的自律性和动力。日本约有 1/3 的地区对家庭排放垃圾实行收费制度。收费的标准主要依据排放垃圾的数量来确定，排放越多交纳费用就越多。

除了生活垃圾从量制外，日本还有一些地区实施不管排出量是多少，只征收固定费用的定额制，其征收方式既有按家庭征收的，也有按家庭成员人均定额征收的。还有只对大量排出的一般废弃物征收其费用的制度：即在一定额度内使用免费垃圾袋，超过一定额度的，仅对超过部分征收费用。日本工业废弃物的处理再利用，由企业自行负责。企业处理产业废弃物以“3R”原则为标准，建立扩大生产者责任制度。即把生产者的责任从产品的生产阶段扩大到产品消费以后所发生的最终废弃物的再利用和处理方面；生产者对其生产的产品不仅在生产、消费过程中负有责任，而且在该产品报废以后合理回收和处置方面也负有一定的责任。日本企业从原材料的选购、产品制造、加工组装，到流通、消费甚至到废弃、回收利用。整个产品生命周期的各个阶段都要全方位考虑如何降低环境负荷而不影响经济利益。

日本对废弃物“防”重于“治”。1990年，日本实行了认证单制度，这个制度本来的目的是把有害废弃物从产生到最后都记录在案，然后进行跟踪受理。1997年和2000年的《废弃物处理法》的修订使这一制度的使用范围扩大到了所有的工业废弃物。日本通过引进电子信息处理机构，排出废弃物的企业有义务关注该废弃物，一直到最终处理。认证单上必须填写将要处理工业废弃物的种类、数量和搬运公司的名称及联系方式、处理公司的名称及联系方式、处理方式、最终处理场所等。认证单制度虽然烦琐，但排出企业把废弃物委托出去后，始终掌握着废弃物的每一步去向，直到最终处置场告知已经处置完毕为止。依靠认证单制度可以防止不正确处理引起的环境污染，也可以防止已经成为社会问题的非法倾倒垃圾事件的发生。

日本在垃圾处理技术上主要包括生产废弃物固体燃料和垃圾生物降解。废弃物固体燃料是将可燃垃圾进行粉碎、筛选、干燥后，掺入石灰，压缩成形得到的。它便于存放和运输。在小规模的市区、街道、村镇里，不焚烧垃圾。而将垃圾制造成废弃物固体燃料，运送到附近城市的大型垃圾焚烧厂进行集中处理。另外，废弃物固体燃料还可以用在中小学校、浴池、小型洗衣厂或水泥厂等。生活垃圾是有机型废弃物，可作为农作物的堆肥被利用，并有助于有机蔬菜的生产和耕地的土壤改良。日本在积极研究筛选能高效降解生活垃圾的微生物，将高效的微生物菌群接种到生活垃圾中。通过生物降解综合处理生活垃圾。现在，日本家庭或小区实施生鲜垃圾堆肥化的实例逐渐增多。与日本相比，我国的废弃物处理方式主要以填埋为主，但随着城市化进程的加快，垃圾产生量的不断增加，填埋方式带来的危害有目共睹。日本的废弃物处理管理制度和技术给我国带来了很多的借鉴。



## 1.5.2 美国“废弃物”的处理

2008年的数据显示：美国城市固体废弃物中，硬纸板和其他纸类废弃物占31%；庭院植物废弃物和食物废弃物占26%；塑料占12%；金属占8%；橡胶、皮革和纺织品约占8%；木材占7%；玻璃占5%；其他杂物占3%。科学管理和处置城市固体废弃物成为美国社会面临的重大课题之一。针对日益突出的废弃物难题，美国各级政府和业界想方设法提高废弃物管理水平，逐步形成了以控制废弃物源头为先、废弃物再循环和堆肥处理居次、填埋或焚烧废弃物随后的多层次废弃物管理模式。其主要做法如下。

**(1) 从产品设计、生产、购买和使用环节入手，减少废弃物的产量或毒性** 1950年以来，美国人均年消耗基础原材料20t，超过了以往任何时代。为此，从源头控制废弃物产生至关重要。一是节约自然资源。物品从生产到废弃整个使用周期都会产生废弃物。物品再利用或削减生产用料可望大幅减少废弃物量。1977年以来，美国2升饮料塑料瓶质量从68g减至51g，每年有效减少了2.5亿磅（1lb=0.45kg）塑料废弃物的产生。二是降低成本，节省费用。目前，美国超过7000个社区开始采用“废弃物按量收费”模式，不再收取固定废弃物处理费。减少废弃物量无疑为居民节省了垃圾处理费。对企业同样有利可图，减少包装材料的使用有助于企业降低生产成本，扩大利润边际，惠及消费者。而消费者购买可重复使用的商品，既可以为环保做贡献，又减少了费用。此外，一些庭院植物垃圾或剪草就地堆肥同样是控制垃圾量的有效途径。值得注意的是，一段时间以来，全美各地兴起了“零垃圾”热，很多人拒绝使用泡沫塑料餐盒或其他难以生物降解的包装，目的是减少垃圾的产生量。

**(2) 废弃物再循环和堆肥化** 美国废弃物再循环比例稳步增长，从1980年的不到10%上升到了目前的33%。废弃物再循环或堆肥化不仅有助于减少废弃物堆积，而且还保护自然资源，减少温室气体排放，节约水资源和能源，经济、环境和社会效益颇为可观。2008年，33.2%的美国城市固体废弃物被再循环（6100万吨）或做堆肥化（2210万吨）处理。其中，办公用纸回收增至71%，达430万吨；65%的庭院植物垃圾（2100万吨）被堆肥化处理，比1990年增加了5倍；金属再循环率将近35%，达700万吨。

**(3) 垃圾填埋场掩埋** 目前，美国约有1800家垃圾填埋场。垃圾填埋场选址规定严格，必须远离断层、湿地、冲积平原和其他受限制区域。虽然垃圾填埋场数量持续减少，但垃圾填埋能力却稳步上升。美国城市固体垃圾填埋场掩埋生活垃圾、无害污泥、企业固体垃圾、建筑垃圾以及电冰箱、窗式空调等大型家用电器，不接受涂料、清洁剂、化学品、机油、电池和杀虫剂等有害物品。2008年，美国54%的城市固体垃圾（共计1.35亿吨）被掩埋处理，每吨垃圾平均处理费48美元。其中，佛蒙特州收费高达98美元/t，居各州之首。

**(4) 焚烧** 为了压缩垃圾数量，美国还采取焚烧方法处理垃圾。2008年，美国焚烧处理的垃圾约为3200万吨，约占城市固体垃圾的13%。美国超过20%的垃圾焚烧设备使用的是“垃圾衍生燃料（RDF）”技术。与“原生态”大规模焚烧垃圾不同的是，垃圾衍生燃料设施预先将金属、罐头和玻璃等再循环垃圾分离出来，然后再将其余可燃物碾碎后焚烧。目前，美国共有87家垃圾发电厂，联邦政府和24个州政府将可用于燃烧发电的垃圾归类为再生能源，并提供政府补贴。据统计，2008年，纸张、食品等有机垃圾焚烧后转换的能源，约等于0.2%的美国能源需求。除了生成能源之外，垃圾焚烧后留下的灰烬是理想的无害建筑材料。目前，美国约有10%的垃圾焚烧灰烬被作为垃圾填埋场日常覆盖垃圾之用，或作

为建筑材料用于公路等领域。

### 1.5.3 德国“废弃物”的处理

德国是世界上实际进行环保和发展环保技术均领先的国家之一。越来越多的人在这一领域找到工作。德国有上千个环保组织，人员达 200 万左右。比如，“自然保护联盟”有 105 年的历史，拥有成员约 40 万人。该组织每年的经费 1800 万欧元，其中，1200 万欧元来自成员缴纳的会费，另外还有一定数量的捐赠和罚款收入。“自然保护联盟”90%以上的成员都是义务兼职人员，他们每人每年要交纳 28 欧元的会费，却无偿为环保事业做着大量工作。“自然保护联盟”主席契普克谈到，这些义务环保人员非常活跃，常常到处举行宣传活动，希望能将每一个关注环境问题的男女老少变为辛勤播撒环保种子的人。作为环保意识很强的国家，德国对环保产品的需求是很大的。从食品到无氟冰箱乃至垃圾处理。这里，不仅是消费者的需求，生产者的需求也同样起着关键作用，他们通过节约能源，对产品再利用的特别重视及采用环境无害的生产工艺等促进环保。生产领域的经验表明，谁重视环境问题，谁就能够获得更多的利润。生态和经济相得益彰，这一认识促使德国近年来极大地发展了环保技术及环境无害的产品和生产工艺。

德国是最早实施资源循环利用的国家之一，其资源循环利用法制建设也走在世界的前列。早在 1972 年，德国就制定实施了《废弃物处理法》，但当时立法的目标仅仅是为了“处理”生产和消费过程中所产生的废物，仍然属于环境问题的末端处理方式，因此，该法尚不属于资源循环利用性质的立法。1986 年，德国将《废弃物处理法》修改为《废弃物限制处理法》，强调要采用节约资源的工艺技术和可循环的包装系统，把避免废物的产生作为废物管理的首选目标，将立法目的由“怎样处理废弃物”转变为“怎样避免废弃物的产生”。1991 年，德国首次按照从资源到产品再到资源的资源循环利用思路制定了《包装废弃物处理法》（该法分别于 2000 年和 2001 年两次修订），要求生产商和零售商对于商品的包装物要尽可能减少并回收利用，以减轻填埋和焚烧的压力。1994 年 9 月 27 日，德国公布了发展资源循环利用的《循环经济和废物处置法》，把资源闭路循环利用的思想从商品包装拓展到社会相关领域，规定对废物管理的手段首先是尽量避免产生，同时要求对已经产生的废物进行循环使用和最终资源化的处理。在德国，《联邦大气排放法》、《污染弃置法》、《水管理法》等法律中包含了有关废弃物管理和水体保护的法规。德国法律规定最大限度地利用废渣而不是弃置。例如，1986 年的《废弃物排放法》的制定方针就体现这一点。有关废渣利用的方针也贯穿于《联邦大气排放控制法》。1993 年 6 月，《多种废弃物排放技术规定》付诸实施。1996 年出台《循环经济和垃圾处理法》，为循环经济的发展制定了有力的法律框架。在《循环经济和垃圾处理法》的框架下，德国还根据各个行业的不同情况，制定促进该行业发展再生资源循环利用的法规，比如《饮料包装押金规定》、《废旧汽车处理规定》、《废旧电池处理规定》、《废木料处理办法》。归纳起来，德国的再生资源循环利用立法体系共有三个层次：法律、条例和指南。除上述提到的法律、条例外，还有农业和自然保护法、污水污泥管理条例、废旧汽车处理条例、废电池处理条例、有机物处理条例、电子废物和电力设备处理条例、废木材处理条例、废物管理技术指南、城市固体废物管理技术指南等。在立法方法上，通常采取先对个别领域立法，再制定统一规范的立法方式。此外，1999 年 8 月，联邦环境署提出未来市政垃圾处理的指导性策略；到 2020 年，不仅要回收玻璃、纸类、纸板、有机废物和塑料，而且要回收其他所有的市政废物。德国关于资源循环利用的立法及其实践，对