



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

废物资源综合利用技术丛书

FEIJIU JINSHU ZIYUAN ZONGHE LIYONG

废旧金属资源 综合利用

黄建辉 刘明华 等编著



化学工业出版社



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

❖ 废物资源综合利用技术丛书

FEIJIU JINSHU ZIYUAN ZONGHE LIYONG

废旧金属资源 综合利用

黄建辉 刘明华 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统介绍了废旧金属资源循环利用的实用技术，内容包括：废旧金属资源综合利用的概述；废钢铁的再生利用技术，主要包括废钢铁的再生利用概况、品质检验、预处理技术、再生利用技术和再生利用工艺实例；铜的再生利用技术；铝的再生利用技术；其他废旧金属的再生利用技术；超级冶炼厂、生命周期分析和工业生态园区。

本书可供从事废旧金属循环利用的工程技术、研究、生产和经营等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考，也可供高等学校环境科学与工程、资源循环科学与工程及相关专业师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

废旧金属资源综合利用/黄建辉等编著. —北京：化学工业出版社，2018.1

(废物资源综合利用技术丛书)

ISBN 978-7-122-30511-4

I. ①废… II. ①黄… III. ①金属废料-废物综合利用 IV. ①X756.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 207755 号

责任编辑：卢萌萌 刘兴春

文字编辑：陈 雨

责任校对：王 静

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 装：三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 15¼ 字数 352 千字 2018 年 1 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：58.00 元

版权所有 违者必究

《废物资源综合利用技术丛书》 编委会

主任：岑可法

副主任：刘明华 陈冠益 汪 莘

编委成员（以汉语拼音排序）：

程洁红	冯旭东	高华林	龚林林	郭利杰	黄建辉	蒋自力
金宜英	梁文俊	廖永红	刘 佳	刘以凡	潘 荔	宋 云
王 纯	王志轩	肖 春	杨 帆	杨小聪	张长森	张殿印
张 辉	赵由才	周连碧	周全法	祝怡斌		

《废旧金属资源综合利用》 编著人员

编著者：黄建辉 刘明华 陈晓梅 郭 佳 李 莎

随着科学技术的发展和水平的提高,人类对金属的消费量日趋增加,而原生金属资源的不可再生性,使人类将要面临严重的资源危机。“十二五”以来,我国再生资源产业规模不断扩大,“十三五”期间,根据《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》(2016版征求意见稿),再生金属、报废汽车拆解和再生利用以及废橡胶、废塑料、废旧机电产品的无害化再生利用被列入了再生资源领域专项整治方案,标志着废物资源化已经上升到战略性高度。再生金属行业是资源再生产中最具代表性的行业之一,再生金属与生产同量的金属相比,具有节水、节煤、少排放固体废弃物和废气的环保优势。废旧金属资源的再生作为资源综合利用的重要组成部分,对于保证资源永续、减少环境污染、节省能源、提高经济效益具有重要的意义。鉴于此种情况,近年来废旧金属资源的回收利用产业得到了多方重视,并且以投资少、消耗低、成本低等特点在国内外得到了迅速发展。

为响应“十三五”提出的生态环境质量总体改善目标,促进再生金属行业的信息交流和技术合作,推广再生金属资源的应用技术,加速再生金属资源的循环利用,我们通过查阅历年来的相关研究成果,编著了这本《废旧金属资源综合利用》,以供读者参考。

本书共6章,第1章是绪论;第2章~第5章主要介绍了废钢铁、铜、铝及其他金属的再生利用;第6章对超级冶炼厂及生态工业园等概念进行介绍。全书内容丰富、图文并茂、实用性强,可供从事废旧金属加工、物资回收及环境保护等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考,也可供高等学校、再生资源科学、环境科学与工程及相关专业师生参阅。

本书主要由黄建辉、刘明华等编著,陈晓梅、郭佳、李莎等参与了本书部分章节内容的编著工作。全书最后由黄建辉和刘明华统稿、定稿。

本书在编著过程中参考了大量资料和许多学者的研究成果,在此表示真诚的谢意。

限于编者的专业水平和知识范围,虽已尽力,但疏漏和不足之处仍在所难免,恳请广大读者和同仁不吝指正。

编著者

2017年5月

第 1 章 绪论

1.1 金属材料概述	1
1.1.1 金属材料的含义及分类	1
1.1.2 金属材料与资源环境	2
1.2 废旧金属的来源与分类	3
1.2.1 废旧金属的来源	3
1.2.2 废旧金属的分类	3
1.3 废旧金属回收利用现状	4
1.4 循环经济	4
1.4.1 循环经济概念及其内涵	4
1.4.2 循环经济原则	6
1.4.3 循环经济特征	7
1.4.4 生命周期评价	7
参考文献	8

第 2 章 废钢铁的再生利用技术

2.1 废钢铁再生利用概况	9
2.1.1 废钢铁再生利用的意义	9
2.1.2 废钢铁的来源	11
2.1.3 废钢铁的分类及用途	13
2.1.4 废钢铁再生利用流程	17
2.2 废钢铁的品质检验	18
2.2.1 废钢铁检验的要求	19
2.2.2 废钢铁的检验方法	21
2.2.3 废钢铁中放射性物质检测	32
2.3 废钢铁的加工	33
2.3.1 废钢铁的分选	33
2.3.2 氧气切割	33
2.3.3 剪切	48
2.3.4 破碎	49

2.3.5	打包压块	52
2.4	废钢铁的拆解	53
2.4.1	报废汽车回收拆解与再利用	53
2.4.2	废旧家电回收拆解与再利用	56
2.4.3	废旧船舶回收拆解与再利用	58
2.5	废钢铁的运输及储存	64
2.5.1	废钢铁的运输	64
2.5.2	废钢铁的储存	65
2.6	废钢铁的冶炼通用技术	65
2.6.1	废旧钢铁电炉炼钢的基本任务	66
2.6.2	电弧炉设备简介	66
2.6.3	废旧钢铁电炉炼钢的过程	69
2.7	废钢铁的再生利用工艺	80
2.7.1	中、重型废钢的加工工艺	80
2.7.2	返回法冶炼高速钢	81
2.7.3	感应炉直接冶炼高速钢废料	83
2.7.4	返回吹氧法冶炼铬镍不锈钢	85
2.7.5	废钢铁利用实例	87
	参考文献	91

第3章 铜的再生利用技术

3.1	二次铜再生利用概况	92
3.1.1	二次铜资源概述	92
3.1.2	二次铜资源的分类和标准	94
3.1.3	再生铜工业	96
3.2	二次铜的预处理	99
3.2.1	预处理技术	99
3.2.2	电缆、电线铜的回收	101
3.2.3	报废汽车铜的回收	102
3.2.4	电子电器废料铜的回收	102
3.3	废铜的再生利用技术	104
3.3.1	概述	104
3.3.2	直接回收利用	105
3.3.3	火法冶炼	110
3.3.4	湿法冶金	113

3.3.5 电解精炼	114
3.4 二次铜再生利用工艺实例	114
3.4.1 从铜渣和垃圾中回收好铜	114
3.4.2 用铜屑重熔烧注铜锭或铸件	115
3.4.3 用青铜回炉料等熔制铸造青铜实例	116
3.4.4 云南铜业(集团)有限公司	119
参考文献	120

第4章 铝的再生利用技术

4.1 废铝再生利用概况	122
4.1.1 铝和铝合金产品	123
4.1.2 废铝的来源及分类	124
4.1.3 废铝循环利用现状	131
4.2 废铝原料预处理	134
4.2.1 风选法	135
4.2.2 磁选法	135
4.2.3 浮选法	136
4.2.4 废铝表面涂层的预处理技术	136
4.3 废铝的再生利用技术	137
4.3.1 废铝的火法精炼技术	137
4.3.2 废铝的电解技术	147
4.4 废铝再生利用工艺实例	149
4.4.1 铝屑处理工艺及自动化生产线	149
4.4.2 废杂铝生产工艺与实践	152
参考文献	154

第5章 其他废旧金属的再生利用技术

5.1 铅的再生利用技术	155
5.1.1 再生循环铅资源的来源	157
5.1.2 废铅酸蓄电池的回收及预处理	158
5.1.3 含铅废料的再生冶炼	159
5.1.4 铅循环利用的生产实例	160
5.2 锌的再生利用技术	162
5.2.1 含锌废料的来源及再生利用现状	164
5.2.2 废锌的循环利用技术	165

5.2.3	废锌再生利用的生产实例	166
5.3	镍的再生利用技术	168
5.3.1	概述	168
5.3.2	从含镍渣和电镀液沉淀物中回收镍工艺技术	169
5.3.3	从镍渣或净化硫酸镍渣中回收硫酸镍的工艺技术	170
5.3.4	从镍冰铜中提取硫酸镍的工艺技术	170
5.3.5	含镍废杂物料生产高冰镍直接电解金属镍的工艺技术	171
5.4	镉的再生利用技术	172
5.4.1	概述	172
5.4.2	镉渣中镉的回收利用	173
5.4.3	镉的生产方法	173
5.4.4	含镉烟尘、合金、镉-镍电池中镉的回收	176
5.5	稀散金属的再生利用技术	176
5.5.1	硒的回收	176
5.5.2	碲的回收	179
5.5.3	铟的回收	182
5.5.4	镓的回收	185
5.5.5	锗的回收	188
5.5.6	铯的回收	189
5.5.7	铊的回收	193
5.6	贵金属的再生利用技术	195
5.6.1	含金废料的再生利用	195
5.6.2	含银废料的再生利用	201
5.6.3	含铂废料的再生利用	207
	参考文献	211

第6章 超级冶炼厂、生命周期分析和工业生态园区

6.1	超级冶炼观念	213
6.2	环境效益评估	214
6.3	金属及材料生态学概念中的冶金和回收	215
6.3.1	金属及材料生态学概念	215
6.3.2	动态回收系统模拟	216
6.3.3	金属动态系统模拟	216
6.4	生命周期分析	217
6.4.1	概述	217

6.4.2	废金属再生利用的生命周期分析	218
6.4.3	废金属再生利用的价值	219
6.4.4	管理和趋势	219
6.4.5	生命周期分析	220
6.4.6	生命周期分析方法学	221
6.5	生态工业园区	222
6.5.1	概述	222
6.5.2	工业生态学与生态工业园	222
6.5.3	国内外情况	223
	参考文献	226
	索引	227

第1章

绪论

1.1 金属材料概述

1.1.1 金属材料的含义及分类

金属是指具有良好的导电性和导热性、有一定的强度和塑性并具有光泽的物质，如铁、铝和铜等^[1]。

金属材料是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、金属材料金属间化合物和特种金属材料等^[2]。合金是由一种金属与另一种(或几种)金属或非金属所组成的具有金属通性的材料。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。钢、生铁、铸铁、黄铜、青铜、白铜、硬铅等本质上都是合金。金属材料，尤其是钢铁材料(约占金属材料的90%)，是现代化工业的基础，各种机器、设备、交通运输工具、火箭、卫星及人类的日常生活都离不开金属材料。

金属材料通常分为黑色金属、有色金属和特种金属材料^[3]。

(1) 黑色金属

黑色金属又称钢铁材料，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。广义的黑色金属还包括铬、锰及其合金。

(2) 有色金属

有色金属是指除铁、铬、锰外的所有金属及其合金，通常分为轻金属、重金属、贵金属、半金属、稀有金属和稀土金属等。有色合金的强度和硬度一般比纯金属的高，并且电阻大、电阻温度系数小。

(3) 特种金属材料

特种金属材料包括不同用途的结构金属材料 and 功能金属材料。其中有通过快速凝固工艺获得的非晶态金属材料，以及准晶、微晶、纳米晶金属材料等；还有隐身、抗氢、超导、形状记忆、耐磨、减振阻尼等特殊功能合金以及金属基复合材料等。

按组成成分的不同，金属材料可分为纯金属材料 and 合金两大类。纯金属就是由一种金属

元素组成的物质，合金则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^[4]。

按照加工程度的不同，金属材料可分为冶炼产品和加工产品两大类。冶炼产品是指经冶炼、浇铸而成的金属产品，如生铁、铁合金和各种有色纯金属锭块等，它们大多不能直接使用，而是用于配制合金或作为进一步加工的原料。加工产品是金属冶炼产品经压力加工制成的金属成材，如各种型材、棒材、板材、管材等，它可直接用于各种产品的制造。在金属材料的管理工作中，冶炼产品通常指有色纯金属锭块，而加工产品是指有色成材。

金属材料的特征主要如下：a. 具有金属光泽和颜色、良好的反射能力和不透明性；b. 具有很高的强度和良好的延展性（塑性变形能力）；c. 具有比一般非金属材料大得多的导电能力；d. 具有磁、热、光等物理特性，作为电、磁、热、光等方面的功能材料，金属可以在很多领域里发挥作用；e. 表面工艺性能优良，在金属表面可进行各种装饰工艺以获得理想的质感。

1.1.2 金属材料与资源环境

金属材料对环境的作用有利也有弊，有利的一面是金属材料推动着人类社会的物质文明；不利的一面是金属材料的生产和使用消耗大量资源和能源，并可能给环境带来严重的污染和破坏^[5]。

金属材料的生产和使用过程中，会向环境排放大量的烟雾废气、废液、粉尘、矿渣等污染物，还会产生噪声污染、振动污染、化学污染、放射性物质污染、光污染等，这些污染会给生物和环境造成危害，甚至构成毁灭性的灾难（如动植物绝种）。以黑色冶金生产为例，目前，我国钢铁生产排放的废水占工业废水总排放量的 14.1%，废气占工业总排放量的 30.0%，废水、废气污染排放量仅次于化工，居第二位。有色金属工业是以品位很低的矿产资源为对象进行提取、加工的产业，年产 5.0×10^6 t 的有色金属产品，所造成的以尾矿和废渣为主的工业固体废弃物每年超过 6.0×10^7 t，尾矿总库容达 1.0×10^9 m³。另外，有色金属生产过程中排放的二氧化硫、氟化氢等废气，是有毒废气的源头之一。

我国自然资源相对匮乏，人均资源占有量仅排在世界第 80 位。资源短缺、浪费严重和生态恶化的状况，使得资源节约与综合利用，尤其是再生资源的开发利用显得越来越重要和紧迫^[6]。废旧金属是指冶金工业、金属加工工业或其他大量使用金属的工业丢弃的金属碎片、碎屑和锈蚀、报废的各种金属器物等。美国环保局确认，从废家电中回收的废钢代替通过采矿、运输、冶炼得到的新钢材，可减少 97% 的矿废物、86% 的空气污染、76% 的水污染；减少 40% 的用水量，节约 90% 原材料和 74% 的能源^[7]。又如，1t 随意搜集的电子板卡中，可分离出 130kg 铜、0.45kg 黄金、19kg 锡；1t 旧手机废电池，可以从中提炼 100g 黄金，而普通的含金矿石，每吨只能提取 6g，多者不过几十克，可以说，旧手机是一种品位相当高的金矿石；在印刷电路板中，最多的金属是铜，此外还有金、铝、镍、铅等，其中不乏稀有金属。

可见，通过废旧金属的回收利用，将大量社会生产和消费后废弃的资源再利用，既减少了对原生资源的开采，又节约了大量能源，更有助于实现资源的永续利用。对此，世界发达国家相继出台了必要的法规政策，刺激废弃物循环利用。我国政府历来十分重视再生资源的回收利用，在我国制定的《中国 21 世纪议程》白皮书中，将“固体废弃物的无害化管理”列

为第 19 章，这标志着我国再生资源开发利用事业有了明显的起步。原国家经贸委制定的《再生资源回收利用“十五”规划》，又把再生资源回收利用工作提高到了一个新的高水平的发展空间，为再生资源行业在新世纪的开端确立了发展方向。因此，大力开展再生资源的回收和利用，是提高资源利用率、保护环境、建立资源节约型经济和社会的重要途径之一，同时也是实施可持续发展战略和转变经济增长方式的必然要求。

1.2 废旧金属的来源与分类

1.2.1 废旧金属的来源

废旧金属的来源非常广泛，如以下来源。

- ① 回收各种废旧钢材、废旧电线及废铝、铜、不锈钢等金属。
- ② 建筑工程方面处理报废的各种金属器械、机械设备、零件、电线等。
- ③ 八成新的工程机械：推土机、压路机、装载机、叉车、汽车吊、履带吊、轮胎吊。
- ④ 回收工艺设备：电缆、电瓶、电动机、机床及各种闲置积压物资。
- ⑤ 厨房设备：排烟机、不锈钢、工作台、蒸笼、电冰箱、冰柜、灶台等。
- ⑥ 制冷设备：各种废旧冷库、中央空调、窗机等。
- ⑦ 临时回收废旧锅炉、钢筋、管件、配电柜、电动工具等。

1.2.2 废旧金属的分类

废旧金属的品种主要分类如下。

(1) 有色金属类

1) 铜 铜棒、铜条、铜阀门、铝塑管铜接头、PEX 铜接头、各种型号铜管件、废旧铜线、铜丝、铜管、铜水箱、铜磨、铜削、各种紫黄铜。

2) 铝 铝锭、铝棒、各种型号的铝型材、废旧铝线、铝板、铝丝、铝盒、火塞铝、废旧铝杂料。

3) 铅 铅锭、废旧电瓶铅、电缆铅、废旧软硬铅、铅灰。

4) 锌 锌锭、废旧锌片、件锌、锌渣、镀锌头。

(2) 黑色金属类

1) 锰铁 碳锰铁、高碳锰铁。

2) 硅铁 铁和硅组成的铁合金作为合金元素。

3) 铬铁 各种型号的高铬、中铬、低铬、微铬。

4) 稀土 稀土镁及稀土硅。

(3) 各种稀有、稀贵金属类

钛铁、磷铁、钒铁、钼铁、镍板、锡、铋、铋等。

(4) 各类金属

铝基轴承合金、锡基轴承合金、硅锰合金及硅钙合金。

1.3 废旧金属回收利用现状

金属回收是指从废旧金属中分离出来的有用物质经过物理或机械加工成再生利用的制品，是从回收、拆解到再生利用的一条产业链。美国和加拿大，因为其是工业经济高度发达的国家，每年产生大量的废旧金属，除本国可直接重新利用外，一般都运往国外，而且该类废品可以说遍地皆有，特别是在一些大城市，无论是工业下脚料的生产区，还是集中于重型工业的生产地区，都产生大量工业废旧金属。

日本是另一个大量产生废旧金属的国家，但因其经济条件与美国不同，其回收利用又有不同特点。日本工业发达而土地狭小，资源匮乏，劳工费用极高，环保要求严格，因而日本工业生产材料利用率极高。其加工产生废旧金属的特点是：工业生产边角料极其碎小，品种区分不规范，常常混杂堆放，若不加分拣，质量不佳，几乎 100% 是低品质废料。相对而言，日常消耗性工业产品所产生的废五金所占比例较大，因而价格便宜。在日本，某些地区一些工业垃圾不仅不收费，而且政府对废五金的出口还给予政策性的补贴，鼓励把大量废弃金属运出日本，一些出口商往往以工业垃圾形式用小型千吨散装船将工业垃圾运往中国等国家^[8]。

近年来，我国需要报废和回收处理的家用电器、废旧电脑、废旧汽车数量大幅度上升，但上述大多数废弃物资源被随意堆置和低级利用，这使得资源浪费和环境污染问题相当严重。目前，我国单位国民生产总值所消耗的矿物原料比发达国家高 2~4 倍；能源利用效率只有 32% 左右，比国际先进水平低 10 个百分点，单位国民生产总值能耗是发达国家的 3~4 倍。每年大约有 5.0×10^6 t 废钢铁、 2.0×10^5 t 废有色金属等废旧物资没有回收利用。我国再生资源的回收利用率仅相当于世界先进水平的 30% 左右。因此，我国急需建立健全的再生物资回收利用方面的法规体系、有效的激励政策、完善的回收体系和合理的费用机制；开发和推广有效的再生资源回收利用技术应用，建立循环经济技术支撑体，促进资源的高效及循环利用。

1.4 循环经济

1.4.1 循环经济概念及其内涵

在社会生产活动中，从资源流程和经济增长对资源和环境影响的角度来看，增长方式存在着两种不同的模式。一种是传统增长模式，它以越来越高的强度把地球上的物质和能源开发出来，在生产加工和消费过程中又把产生的污染和废物大量排放到环境中去，对资源的利用常常是粗放的和一次性的，通过把资源转换成一定产品和相当数量的废物来获得经济的增长。这种由“资源—产品—污染排放”所构成的物质单线流动的传统经济，导致了各类自然资源的短缺与枯竭，并酿成日益加剧的灾难性环境污染后果，危害经济和社会的持续发展。另一种被称为循环经济的模式与此不同，它以生态学规律来指导人类社会的经济活动，要求把经济活动按照自然生态系统的结构，构建成一个“资源—产品—再生资源”的物质反复循环流动的过程，倡导一种建立在物质不断循环利用基础上的经济发展新模式，即循环经济。所谓循环经济，是指在经济发展中，遵循生态学规律，将清洁生产、资源综合利用、生态设计和可持续消费等融为一体，将物质、能量进行梯次和闭路循环使用，实现废物

减量化、资源化和无害化,使经济系统和生态系统的物质生态化循环利用,在环境方面表现为低污染排放甚至零污染排放的一种经济运行模式^[9]。循环经济认为,只有放错了地方的资源,没有真正的废物,它使整个经济系统以及生产和消费过程基本上不产生或产生很少废物,表现为“两低两高”,即低消耗、低污染、高利用、高循环产出,使物质资源得到充分、合理利用,把经济活动对自然环境的影响降低到尽可能小的程度,从而在根本上消除长期以来环境与发展之间的尖锐冲突。

循环经济是按照自然生态系统物质循环方式运转的经济运行模式,它要求用生态学规律来指导人类社会的经济活动,在生产和消费过程中形成一个“资源—产品—再生资源”的物质反复循环过程,在物质不断循环利用的基础上发展经济,使整个生产、经济和消费过程不产生或少产生废物。循环经济的内涵在于以下几点。

(1) 循环经济本质上是一种生态经济

循环经济是对物质闭环流动型经济的简称,以物质、能量梯次利用和闭路循环使用为特征,在环境方面表现为污染物低排放甚至零排放,是一种促进人与自然协调和谐的经济发展模式。它运用生态学规律把经济活动组织成一个反馈式循环流程,实现低开采、低消耗、低排放、高循环、高利用、高产出,以最大限度地利用进入系统的物质和能量,提高资源利用率;最大限度地减少污染物排放,提升经济运行质量和效率,并保护生态环境。循环经济与传统经济的不同之处在于:传统经济是由“资源—产品—污染排放”所构成的物质单行道流动经济。在这种经济运行中,人们以越来越高的强度把地球上的物质和能源开采出来,在生产加工和消费过程中又把污染物大量排放到环境中去,对资源的利用是粗放的和一次性的。而循环经济则是把经济活动按照自然生态系统的模式,组织成一个“资源—产品—再生资源”的物质反复循环流动经济。在这种建立在物质不断循环利用基础上的经济运行中,不但物质资源得到循环利用、综合利用、充分利用,节能降耗,增加财富,而且整个经济系统在生产和消费过程中不产生或者只产生很少废弃物,维护和发展生态平衡,减少资源耗竭,使社会经济可持续发展。

(2) 循环经济的根源在于自然资源已成为制约人类社会发展的因素

经济学认为,资源存在着某种稀缺性,所以有“物以稀为贵”之说;同时,经济学还认为,人类社会需要最有效地配置资源,特别是稀缺资源,如何最有效、最合理地配置资源始终是人类面临的重大社会经济问题。人类社会生产资源包括自然资源、人力资源和工具技术资源。18世纪工业革命刚开始的时候,世界上的稀缺资源主要是人及其工具技术,而不是自然资源,因此工业化的兴起就是要以机器武装人甚至替代人,从而提高劳动生产率。如何更有效地节省人力资源和提高机器工具技术水平,以便更大规模地利用自然资源,成为当时的主要矛盾。但是在工业革命两百多年后的今天,随着人口的迅速增长和生产力水平的极大提高,稀缺资源发生了变化。人力已不再是稀缺资源,工具技术也不再是稀缺资源,而过去曾经被认为大量存在、取之不竭的自然资源却变成了稀缺资源,并且这种变化的反差还有不断增大的趋势,即一方面随着人口增长和技术进步,人类经济系统日益扩大;另一方面由于大量开采、消耗资源和污染环境,自然资源系统日趋减小,自然资源更显稀缺。经济学的原理仍然是正确的,但是配置稀缺资源的主要矛盾变了。当今社会,一方面如何解决过剩劳动力的就业问题已成为全球主要矛盾,另一方面日趋衰减的自然资源则成为制约经济发展的要素,人类社会面临着因自然资源耗竭而终止发展的严重危机。因此,如何减少自然资源耗费和防治自然环境污染成为当今社会热议的话题,循环经济作为综合、循环利用自然资源

与保护自然环境的经济模式和人类社会可持续发展的策略，非常必要和合理地突现在当今世界和未来社会的面前。

(3) 循环经济的核心是提高自然资源生产效率

从物质流动的形式看，传统经济的本质是一种不考虑自然资源生产效率的线性经济。在线性经济中，资源输入经济系统，经过生产过程转换成产品并排放出废弃物，产品被消费后也变成废弃物排放于自然环境中，因而导致了环境污染问题。这一过程是单通道的，表现为线性。在线性经济模式下，经济增长是以消耗自然资源为代价的，追求的是不断提高劳动生产率，即单位劳动耗费能推动多大的经济增长，这种增长主要是数量上的攀升，其结果是经济规模越大，资源消耗越多，生态环境越恶化。而循环经济作为一种资源闭路循环利用和梯次利用的经济活动模式，资源输入经济系统，经过生产过程中间转换，不但输出主产品，而且梯次输出副产品，而产品被消费后又变成再生资源，再生资源经过新一轮生产过程变为再生产品，如此循环反复的转换过程，使资源的各种成分得到综合利用、回收利用和充分利用，最终很少甚至没有废物排放于自然环境中。在循环经济中，不但讲究劳动生产率，而且更加注重追求提高自然资源生产效率，即单位自然资源带来的经济发展。这种发展不只是数量增加，更重要的是质量提高，包括经济效益、生态效益和社会效益的全面提高，保障社会经济和生态环境的可持续发展。

1.4.2 循环经济原则

循环经济要求以“3R”原则为经济活动的行为准则。所谓“3R”原则，即“减量化原则”“再利用原则”和“再循环原则”。

(1) 减量化原则(Reducing)

“减量化”是循环经济的第一法则。它要求以尽可能少的原料和能源投入来达到既定的生产目的或消费目的，从经济活动的源头就开始注重节约资源和减少污染，也被称为减物质化。换句话说，减量化原则要求经济增长具有持续性及与环境的相容性。人们必须在生产源头就充分考虑资源的替代与节约、提高资源的综合利用率、预防废弃物的产生，而不是将重点放在生产过程的末端治理上。减量化原则在生产过程中表现为产品生产的小型化和轻型化，产品包装的简单适用而不是豪华浪费，如制造轻型汽车替代重型汽车、采用可再生资源替代石油、煤炭等作为燃料等。在满足消费者需求的同时，又可以节约资源、能源，减少甚至消除汽车尾气的排放量、降低尾气的治理费用、控制或缓解“温室效应”。减量化原则在消费中主要体现为适度消费、层次消费而不是过度消费。如改革产品的过度包装、淘汰一次性物品不仅可以减少对资源的浪费，同时也达到了减少废物产生和排放的目的。

(2) 再利用原则(Reusing)

再利用原则要求产品和包装物能够以初始形式被多次和反复利用，而不是一次性消费，从而避免产品过早成为垃圾。同时，要求系列产品和相关产品的零部件及包装物兼容配套，当产品更新换代时，零部件及包装物并不淘汰，可用于新一代产品及其他相关产品。如某些电脑制造商按照模块化方式把电脑零部件设计成易于拆卸和再使用的模块，以积木方式组合其产品。再利用原则还要求制造商和消费者应尽量延长产品的使用期，而不是频繁地更新换代。

(3) 再循环原则(Recycling)

再循环原则要求生产出来的产品在完成其使用功能后重新变成可以利用的资源，而不是

不可恢复的垃圾。按照循环经济的思想,生产者的责任应包括产品废弃后的回收和处理,因此,产品生产出来、销售出去对生产者来说仅仅是完成了1/2的使命。再循环有原级再循环和次级再循环两种情况:原级再循环即废弃物被用来生产同类新产品,例如,用废纸再生纸张、易拉罐再生易拉罐等;次级再循环即将废弃物转化为其他产品的原料。原级再循环在减少原材料消耗方面所达到的效率比次级再循环要高得多,是循环经济追求的理想境界。从循环经济三个原则被人类利用的顺序上看,“减量化原则”出现的时间最晚,而从循环经济三个原则的作用来看,以预防为主的“减量化原则”是最重要的法则。这是因为循环经济的根本目标是在经济流程中系统地避免和减少废物,而废物的再生利用只是减少废物最终处理量的方式之一,废物的再生利用在本质上仍是末端治理而不是源头预防,它虽然可以减少废物的最终处理量,但不一定能够减小经济过程中的物质流动速度及物质使用规模。

1.4.3 循环经济特征

循环经济是一种科学的发展观,也是一种全新的经济发展模式,其特征主要体现在以下几个方面。

(1) 新的系统观

循环经济的系统是由人、自然资源和科学技术等要素构成的大系统,它要求人将自己作为这个系统的一部分来研究,符合客观规律的经济原则。

(2) 新的经济观

循环经济观要求运用生态学规律来指导经济活动,经济增长要与生态环境的承载能力相适应。在生态系统中,经济活动超过生态环境承载能力的循环是恶性循环,而在生态环境承载能力之内的是良性循环,这样才能使经济与生态友好相处,协调发展。

(3) 新的价值观

循环经济观视自然为可利用的资源的同时,还认识到自然资源环境是人类赖以生存和发展的基础,也是维持良性循环的生态条件。因此,在考虑科学技术对自然的开发能力的同时,还要充分考虑它对生态系统的修复能力;在考虑人对自然的征服能力的同时,更要重视人与自然和谐相处的能力。

(4) 新的生产观

经济循环的生产观念一方面要充分考虑自然生态的承载能力,维持生态平衡;另一方面要做到充分利用自然资源,通过综合利用、回收利用等措施循环利用自然资源,使单位资源创造出更多的社会财富而又不污染或最低程度污染自然环境。

(5) 新的消费观

循环经济观提倡物质的适度消费、层次消费,在消费的同时应考虑废弃物的资源化,建立循环生产和消费的观念。同时要求国家通过税收和行政管理等手段,限制以不可再生资源为原料的一次性产品的生产与消费,以保护地球的稀缺资源,减少自然资源的浪费,保障社会经济可持续发展。

1.4.4 生命周期评价

生命周期评价(LCA),又被称为“从摇篮到坟墓”分析(cradle to grave analysis)或资源和环境轮廓分析(resource and environmental profile analysis),是对某种产品或某项生产活