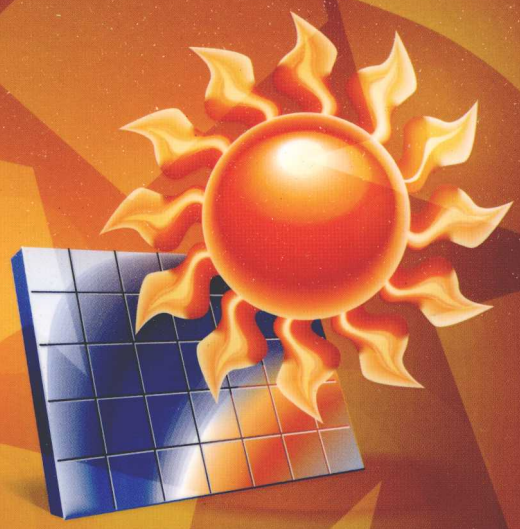
再生资源科学与工程技术丛书

再生资源分选利用

刘明华 主编

ZAISHENG
ZIYUAN
FENXUAN LIYONG



化学工业出版社

再生资源科学与工程技术丛书

再生资源分选利用

刘明华　主编

化学工业出版社
·北京·

本书是《再生资源科学与工程技术丛书》中的一分册，全书共6章。第1章、第2章，首先介绍了再生资源分选相关的理论，然后对不同分选方法进行分类，并介绍了分选前的准备，包括物料的粒度以及破碎和磨碎；第3章～第6章主要介绍再生资源的各种分选方法的原理、设备及工艺流程，包括重力分选、磁选和电选、浮选及其他分选方法。

本书内容丰富，实用性强，可作为高等学校环境科学与工程、能源工程、化学工程及相关专业的本科生、研究生的教材或参考书，也可作为相关领域的科研人员、工程技术人员和管理人员的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

再生资源分选利用/刘明华主编. —北京：化学工业出版社，2013.1
（再生资源科学与工程技术丛书）
ISBN 978-7-122-15788-1

Ⅰ.①再… Ⅱ.①刘… Ⅲ.①再生资源-资源利用-研究 Ⅳ.①F062.1

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第262687号

责任编辑：刘兴春　　文字编辑：刘砚哲
责任校对：吴　静　　装帧设计：史利平

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：北京云浩印刷有限责任公司
装　　订：三河市宇新装订厂
787mm×1092mm　1/16　印张16¼　字数403千字　　2013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：48.00元

前言

Preface

大量生产、大量消费、大量废弃是当今社会经济活动的一大特征，其在保证经济活动快速增长和繁荣的同时，也造成了资源的极大浪费及严重的环境污染。因此，“循环经济”、“资源循环”、“再生资源”、“再生材料”等应运而生，并成为国际社会共同关心的重要议题。为了使可进行材料回收的再生资源转变为再生材料，可以依据再生资源中各有用成分的物理化学特性的差异，采用物理的或化学的方法实现各有用成分的高效分离与材料回收，我们将这一过程称为再生资源的物理化学分选。

为了促进再生资源分选利用技术的推广和应用，推动我国再生资源产业的持续发展，我们通过查阅历年来的相关研究成果并综合编者在再生资源领域的研究心得，编写了《再生资源分选利用》一书，希望本书的出版能够给相关技术人员在从事再生资源回收利用工作时提供一定的指导作用，给科研、生产、教育等领域的人员提供帮助。

本书共6章。第1章、第2章，首先介绍了再生资源分选相关的理论，然后对不同分选方法进行分类，并介绍了分选前的准备，包括物料的粒度以及破碎和磨碎；第3章～第6章主要介绍再生资源的各种分选方法的原理、设备及工艺流程，包括重力分选、磁选和电选、浮选及其他分选方法。

本书内容丰富，实用性强，可作为高等学校环境科学与工程、能源工程、化学工程及相关专业的本科生、研究生的教材或参考书，也可作为相关领域的科研人员、工程技术人员和管理人员参考书。

本书由刘明华主编，林兆慧、刘以凡、颜爱、刘志鹏、龚洪秀等参与了部分内容的编写；最后全书由刘明华统稿。

由于编者的专业水平和知识范围有限，虽已努力，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。

编者

2013年1月

目录

Contents

第1章 绪 论

1.1 资源概述

1.1.1 资源的含义与本质

资源是一个宽泛的概念，人们从不同的角度，对其做出了不同的解释。联合国环境规划署（UNEP）关于资源的定义是：一定时间地点条件下，能够产生经济价值以提高人类当前和将来福利的自然环境因素和其他要素。马克思在《资本论》中说："劳动和土地，是财富两个原始的形成要素。"恩格斯的定义是："其实，劳动和自然界在一起它才是一切财富的源泉，自然界为劳动提供材料，劳动把材料转变为财富。"（《马克思恩格斯选集》第四卷，第373页，1995年6月第2版）马克思、恩格斯的定义，既指出了自然资源的客观存在，又把人（包括劳动力和技术）的因素视为财富的另一不可或缺的来源。可见，资源的来源及组成，不仅包括自然资源，而且还包括人类劳动的社会、经济、技术等因素，还包括人力、人才、智力（信息、知识）等资源。据此，所谓资源是一切可被人类开发和利用的物质、能量和信息的总称，它广泛地存在于自然界和人类社会中，是一种自然存在物或能够给人类带来财富的财富。或者说，资源就是指自然界和人类社会中一种可以用以创造物质财富和精神财富的具有一定量的积累的客观存在形态，如土地资源、矿产资源、森林资源、海洋资源、石油资源、人力资源、信息资源等。资源是一切可被人类开发和利用的客观存在。因此，从广义上理解，资源概念泛指一切资源，即一切可以开发为人类社会生产和生活所需的各种物质的、社会的、经济的要素，包括各种物质资源（各种自然资源及其转化物料）、人力资源（劳动力、智力等人才资源）、经济资源、信息资源和科技文化资源等。这些资源都是人类社会经济生活发展所必不可少的基本生产要素和生活要素。

从狭义上理解，资源概念仅指物质资源，即一切能够直接可开发为人类社会所需要的用其作为生产资料和生活资料来源的、各种天然的和经过人工加工改造的自然物质要素，以及人们在自然资源使用过程中对产生的剩余物和弃置物通过加工重新使其恢复使用价值的物质资料。本书中所论述的资源是指狭义概念定义的物质资源。

物质资源是人类社会赖以生存和发展的基础，是人类生产和生活的源泉，调节着人同自然界物质和能量的交换循环，维系着自然生态系统的平衡。因而物质资源在相当程度上决定着人口的分布转移、社会生产力的布局调整和产业结构的组合变化，制约着经济与社会的进步。随着我国经济的迅速增长，各类自然资源赋存面临着巨量消耗需求和生态环境保护压力的双重约束。这就要求我们对资源树立新的认识和观念，采用新的技术和方式，进行资源的

有效开发与循环利用。

1.1.2 资源的分类

从物质资源作为经济社会发展的基础以及资源形成过程中人类劳动的介入程度这一视角出发，我们认为可以将资源分成自然资源、人工物质资源和废弃物资源即可再生资源三大类，如图 1-1 所示。利用这种方式划分资源体系，能够清晰地反映资源利用方式、产出水平的差异，是客观科学地配置资源的理论前提。

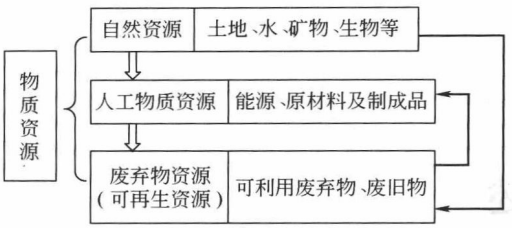


图 1-1 物质资源分类

（1）自然资源

包括土地资源、气候资源、水资源、生物资源、矿产资源及海洋资源等。

（2）人工物质资源

它是指人类在生产过程中开发利用自然资源而形成的物质资料和制成品。初步分析，可以把此类资源分成四大部分，即原料、能源、材料和制成品。人工物质资源来源于自然资源，是人们所利用的自然资源的阶段性产品，是社会生产和生活所必需的物质资源。

（3）废弃物质资源

废弃物质资源又称再生资源，包括可利用废弃物和废旧物资，废弃物资源具有再生性。所谓废弃物质资源再生，从狭义上讲，是指对那些不符合出厂规格的废品及破旧的或失去原有使用价值而被弃置不用的物料等，经过回收加工改制，使其恢复原有物质性能和使用价值功能，再生利用作生产新产品的物质资源的资源增殖过程。从广义上讲，除上述范围外，还包括在矿物、生物资源开发利用和原材料、能源消耗利用过程产生的废弃物中，对其有用物质的回收加工利用的资源化。无论从狭义或者广义上讲，实现废弃物质资源再生的目的，在于充分发挥物质资源的多种功能，物尽其用，为人类发展提供更加充裕的物质来源。

废弃物资源之所以具有这种再生性，是因为其在物质结构上具有多元素多成分性，以及由此分别形成的多种不同组合，构成了其在社会用途上具有多种功能。按照客观规律，物质不灭，在一定条件下能量及功能可以转换。因此，废弃物资源可以通过加工、改制、更新后进行再利用。随着社会生产的发展，科学技术的进步，人们采用不断加强的综合利用手段，对废弃物资源利用的可行性认识更加深入，利用行为日益广泛，并作为资源的重要部分用于生产与生活，取得了可观的经济效益、环境效益和社会效益。

1.2 资源循环

1.2.1 资源循环概述

1.2.1.1 循环经济

循环经济理念是在全球人口激增、资源短缺、环境污染和生态蜕变的严峻形势下，人类

重新认识自然、尊重客观规律、探索新经济增长途径的产物。“循环经济”一词是美国经济学家 K. Boulding 在 20 世纪 60 年代提出生态经济时提出的。他受当时发射的宇宙飞船的启发来分析地球经济的发展。他认为，宇宙飞船是一个孤立无援、与世隔绝的独立系统，靠不断消耗自身资源存在，一旦资源耗尽它就会毁灭。唯一使之延长寿命的方法是实现宇宙飞船内的资源循环。同理，地球经济系统如同一艘宇宙飞船，尽管地球资源系统大得多，地球寿命也长得多，但是，也只有实现对资源的循环利用，地球才能得以长存。

循环经济的提出对 20 世纪 60 年代末开始的关于资源与环境的国际经济研究产生了重大影响。意大利的“罗马俱乐部”在《增长的极限》的研究总报告中，专门写了《人均资源利用》一节，以说明资源循环问题。循环经济理论的产生和发展，也极大地丰富和促进了 20 世纪 80 年代的可持续发展研究，通过把循环经济与生态系统联系起来，为可持续发展提供了制度与技术层面的支撑。在联合国世界环境与发展委员会撰写的总报告《我们共同的未来》中专门写了《公共资源管理》一章，探讨通过管理来实现资源的高效利用、再生和循环。但对于污染物的产生是否合理这个根本性问题，是否应该从生产和消费源头上防止污染产生，大多数国家仍然缺少思想上的统一见解和政策上的举措。

到了 20 世纪 90 年代，源头预防和全过程污染控制才逐步成为发达国家环境与发展政策的真正主流，人们在不断探索和总结的基础上，以资源利用最大化和污染排放最小化为主线，逐渐将清洁生产、资源综合利用、生态设计和可持续消费等融为一套系统的循环经济战略。

循环经济本质上是一种生态经济，它与传统工业经济靠消耗资源的线性增长不同，它是一种“促进人与自然的协调与和谐”的全新的发展模式，一种全新的发展理念。循环经济运用生态学规律把经济活动组织成一个“资源-生产-消费-再生资源”的反馈式流程，实现“低开采、高利用、低排放”，最大限度利用进入系统的物质和能量，提高经济运行的质量和效益。它在本质上要求节约资源、减少污染、保持生态系统平衡的可持续发展战略。它要求人们保持良好的生态系统的同时，发展经济，提高人们的生活水平。它主要以生态学原理与系统论原理为指导，坚持以下几条原则：①“3R”原则，即资源的减量利用原则、产品生产的再使用原则、废弃物的再循环原则；②闭环原理，即“资源-产品-再生资源-再生产品”。

建设节约型社会和发展循环经济，大力推进经济增长方式从粗放型向集约型转变，是落实科学发展观、实现可持续发展的重要保证，是以最小的资源环境为代价获得持续发展的重要保证，以最小的经济成本保护环境，从根本上解决我国经济发展与环境保护之间的矛盾，“让人民都喝上干净的水，呼吸清洁的空气，吃上放心的食物”，让全国人民在山清水秀、天蓝地绿的人与自然和谐的良好环境中生活。因此，发展循环经济和建立节约型社会，既合乎世界潮流，也适合我国国情；既是当前急需，又是关系长远发展、中华民族千秋万代的根本大计。建设节约型社会和发展循环经济，关系到我们每个人、每一个家庭、每一个城市和乡村。

1.2.1.2 资源循环的定义

循环经济的中心含义是“循环”，强调资源在利用过程中的循环，其目的是既实现环境友好，也保护了经济的良性循环与发展。“循环”的意义不是指经济循环，而是指经济赖以存在的物质基础——资源在国民经济再生产体系中各个环节的不断循环利用（包括消费与使用）。资源循环利用是指：自然资源的合理开发；能源原材料在生产加工过程中通过适当的先进技术尽量将其加工为环境友好的产品并且实现现场回用（不断回用）；在流通和消费过

程中的最终产品的理性消费；最后又回到生产加工过程中的资源回用——实现以上环节的反复循环。资源循环简明示意见图 1-2。

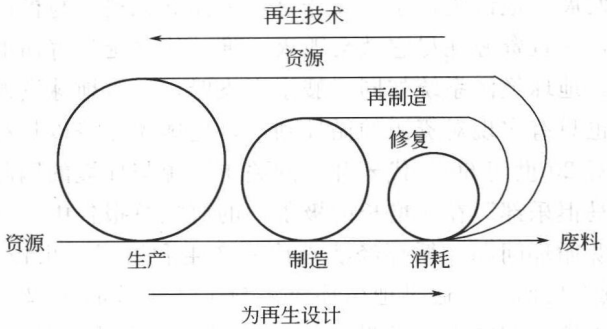


图 1-2 资源循环简明示意

需要指出的是我们应当有两个基本认识：一是资源短缺和市场需求是资源综合利用的根本引导力量；二是资源循环利用的根本推动力是科技进步。每当新技术出现总会开拓出新的资源领域及新的使用方式，推动资源综合利用不断向广度和深度进军。因此，着力于科学技术的创新和实际应用，是加强资源综合利用的关键环节。

所谓资源循环是指人类在利用资源的过程中所产生的产物（不能认为是废物），可以而且应该作为资源加以利用。如此不断循环，最大限度地减少资源的损失和对环境的破坏。过去我们常常将一些资源被利用之后的一些产物称之为“废物”。其实这是一个错误的概念，错误的导向。它应该是另一种资源，如果暂时还不能利用，那只说明科技和经济还没有发展到更高的阶段，正如 100 年之前人类只能处理高品位金属矿，而今天却在大量利用品位低得多的矿石。随着科学的发展和技术的进步，那些被称之为“废物”的资源都将逐步得到利用。因此，将“变废为宝”改为“资源循环”更符合自然界的规律。

1.2.2 资源循环的研究对象

就人类已经或者将来必须利用的资源而言，包括天然矿物资源（金属矿物、非金属矿物、煤炭等）、非传统矿物资源（工业固体废弃物、海洋矿产、湖泊矿产等）、二次资源（废旧电器、废旧金属制品、废旧汽车等）以及非矿物资源（城市垃圾、废旧纸张、废旧塑料、油污水体、油污土壤等）四大部分。其中矿物资源的消耗逐年增加，面临极其短缺的局面；对非传统矿物资源的利用程度受到现有技术条件的制约，在短时间内还难以大规模开发利用。在资源和环境双重压力下，人们不得不把目光瞄准到二次资源和非矿物资源的综合利用上，因此，近阶段内资源循环的主要研究对象就是二次资源和非矿物资源的循环利用。

从资源的大系统来考虑，资源循环的研究对象就是能重复利用的资源，或者称之为“再生资源（Recyclable Resources）”，按资源能否再生可以将自然资源分为恒定性资源、再生资源和不可再生资源 3 类（见图 1-3）。上述的二次资源和非矿物资源均属于再生资源。

1.2.3 资源循环的核心内涵

1.2.3.1 资源循环的指导思想

资源循环既是一门前沿学科，又是一种善待地球的最新发展模式，它要求人们在生产和消费活动中倡导新的行为规范和准则。资源循环具有三大操作原则，即“减量化（Re-

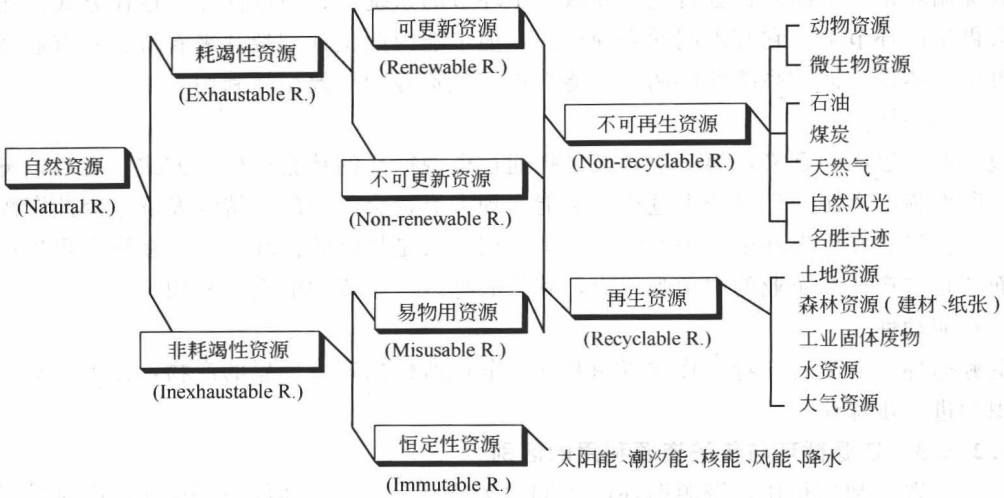


图 1-3 自然资源的分类

duce)、再利用（Reuse)、再循环（Recycle)”，又称为“3R”原则，这也是实施资源循环战略思想的基本指导原则。

（1）减量化原则

它针对的是物质生产输入端，旨在减少进入生产和消费过程中的物质和能源流量。对废弃物的产生，是通过预先措施而不是管道末端治理的方式来加以避免。要求用较少的原料和能源，特别是控制使用有害于环境的资源投入来达到既定目的或消费目的，从而在源头就注意节约资源和减少污染。

（2）再利用原则

再利用原则属于过程性方法，目的是延长产品和服务的时间强度，也就是尽可能地提高产品和服务的利用效率。

（3）再循环原则

它是针对物质生产输出端，旨在把废弃物再次变成可利用的资源，也就是产品完成使用功能后重新变为再生资源。因此本原则也称为资源化原则。资源化有两种：一种是原级资源化，即将消费者遗弃的废弃物资源化后形成与原来相同的新产品；另一种是次级资源化，即将废弃物变成与原来不同类型的新产品。

1.2.3.2 资源循环的基本特征

资源循环主要具有客观性、科技性、系统性、统一性和能动性的基本特征。

（1）客观性

也可称为内在规律性，是指资源循环的出现是人类社会经济发展进程中所必然出现的一种社会生产和再生产方式，是不以人们的意志为转移的社会经济发展的客观现象，是人类社会发展到一定程度之后面对有限的资源与环境承载力所做出的必然选择。

（2）科技性

资源循环的出现和发展是以先进的科技作为依托的。只有通过不断的技术进步，才能实现更大范围和更高效率的资源循环利用，同时不断拓展可供人类使用的资源范围，从源和流两个方面解决人类所面临的资源短缺和生态环境保护问题。

（3）系统性

资源循环是一个涉及社会再生产领域各个环节的系统性、整体性经济运作方式。在不同的社会再生产环节上，它有不同的表现形式，但不能因此将其割裂开来看待。只有通过整个社会再生产体系层面的系统性协调，才能真正实现资源的高效循环利用。

(4) 统一性

包括两个层面的含义，第一层含义是指通过资源循环的社会再生产方式，既可以解决人类目前所面临的资源、环境两大危机，又能实现人类社会经济的可持续发展，因此资源循环是人类社会发展和生态环境保护的统一；第二层含义是指资源循环无论是在社会再生产的宏观层面还是在产业和企业的中微观层面，其核心都统一于资源的循环利用。

(5) 能动性

资源循环是人类对自身面临的资源和环境危机所作的理性反思的产物，是人类对客观世界认识的进一步深化。

1.2.3.3 资源循环与传统资源利用的区别

与传统资源利用相比，资源循环的不同之处在于以下几方面：a. 运动方式为封闭型物质能量循环的网状经济（资源利用-绿色工业-资源再生）；b. 资源循环利用，科学经营管理，低开采、高利用；c. 经济活动遵循自然生态系统的模式，环境保护方式是以预防为主，全过程控制，尽可能实现废弃物低排放乃至零排放；d. 经济增长方式为内涵型发展，追求经济效益、环境效益与社会持续发展效益的统一；e. 支持理论为生态系统理论、工业生态学理论等，应用的评价指标为绿色核算体系。

简言之，资源循环就是按照生态规律利用自然资源和环境容量，实现经济活动的生态化转向，是实施可持续发展战略必然的选择和重要保证。与传统资源利用模式相比，是将传统的“资源-产品-污染排放”单向流动的线形经济转变成“资源-产品-再生资源”。所有的物质和能源都要在这个不断进行的经济循环中得到合理持久的利用，把经济活动对自然环境的影响降低到最小的程度。因此，建设资源循环型经济模式是实现可持续发展战略的重要途径和方式。

1.2.4 资源循环的重要性和必然性

无论是中国还是西方，回收利用生产、生活中产生的可再生资源古已有之。但是人们开始意识到资源回收利用的战略意义，则源于20世纪60～70年代出现全球性环境与资源危机之后。从世界各国最初对环境资源的关注到今天实施可持续发展和探索循环经济路径，大体经历了三个发展阶段。

第一个阶段是从20世纪60年代到70年代中后期的废弃物资源回收利用时期，这个时期人们的关注重点在于对现有经济模式为何会导致环境资源问题，开始采取行动。

第二个阶段是从20世纪70年代中后期到80年代中期的可持续发展理念酝酿和提出时期。人们的关注重点开始从污染的末端治理转向对资源利用的全程控制，清洁生产和生态工业等企业和产业层面的资源循环利用形式开始进入实践。资源合理利用成为一种国际共识。

第三个阶段是从20世纪80年代中期至今。这一时期，从可持续发展理念出发，出现了许多新思想，但着眼点都在于如何实现人类社会的可持续发展。90年代中期，德国等欧洲国家的有识之士首先提出了资源循环理念，并立即在发达国家企业界和民众中得到响应。德国、日本等国家先后制定了发展循环经济或循环型社会的法律，采取政策手段给予推动，包括国家税收财政政策、产业组织与市场结构、企业内部经营管理等方面，对实现资源循环利

用进行理论探讨和产业实践，这一趋势正在进一步深化和扩展。

从指导思想来看，人类社会经济的可持续发展理念是资源循环运作方式的目标和归宿；从产业领域看，从资源回收利用基础上发展起来的清洁生产，以及比清洁生产更进一步的生态工业运作方式使得资源循环获得了有效的实现途径。从最终结果来看，资源循环运作方式将极大地减少新增资源需求以及彻底消除生产、生活中未经处理的废弃物排放，既解决了人类面临的资源短缺问题，又可以使我们获得一个良好的生态环境。

我国经济发展迅速，长期以来依靠粗放型经济增长方式，对资源需求量较大。由于过度开采和低水平利用，许多资源已后备不足，未来资源形势十分严峻，且已经对经济发展和社会进步形成制约。

从现在到2020年的十余年间，是我国全面建设小康社会的重要时期，同时也是我国经济迅速增长时期，但也是我国资源最为紧张、环境压力最大的时期。我国由于人口众多，资源丰富但人均资源相对贫乏，随着人们生活水平的提高和资源消耗量的增大，人均资源需求量还将进一步增长，从而造成资源超常规利用、生态环境日益恶化的巨大压力。能否稳定持续地实现资源供给以保证国民经济快速健康发展便成为我们亟待解决的重大课题。

从宏观意义上讲，未来20年，是我国历史性发展机遇的大好时期，但也是严峻的挑战时期。如果我们能够克服因经济快速增长加上人口总量进入峰值阶段所带来的资源短缺最为严重的时期，实施好国家既定战略目标，那么过了这20年，随着人口高峰的过去、人口素质和科技水平的提高，我国的资源紧张状况将趋于缓解。当前克服资源短缺矛盾的重要手段就是提高资源利用效率，推进可再生资源的开发利用。否则，我们就很难从根本上保障国民经济发展的资源供给能力，到20世纪中叶也就难以实现社会主义现代化的任务。

面对危机，资源循环是我国21世纪实现社会经济可持续发展的必然选择。

1.3 再生资源的物理化学分选

对再生资源的循环利用使得人们对材料的认识产生了新的看法，国际材料界在审视材料发展与资源和环境关系时发现过去的材料科学与工程是以追求最大限度发挥材料的性能和功能为出发点，而对资源、环境问题没有足够重视，这反映在1979年美国材料科学与工程调查委员会给“材料科学与工程”所下的定义：“材料科学与工程是关于材料成分、结构、工艺和它们性能与用途之间的有关知识的开发和应用的科学。”现在，人们对这一传统的材料四要素体系进行了适当的拓宽与修订补充，除产生了具有环境协调性的生态环境材料等概念外，还形成了再生材料的概念。

按照ISO 14021—1999（GB/T 24021—2001）环境标志和环境宣言，“再生材料（Recycled Materials）”即“回收的材料”，是指“把本来会当作废弃物处置或者只能用于能量回收的废物收集起来作为一种材料输入，用于再循环或制造过程的材料”。

在图1-3所示的资源系统中，首先，再生材料应包含在再生资源之中，但不是所有的再生资源都能成为再生材料；其次，某些本来属于再生资源范畴的物质，若经过焚烧或填埋等方法处理，这些物质将转变为不可再生资源，更无法成为再生材料。因此，再生材料的概念中包含了两层意思，其一是再生材料系指再生资源中可回收加工成材料的那部分资源，而不包括土地、水、大气等更广泛意义上的资源；其二是焚烧、堆肥、填埋等再生资源利用途径不属于再生材料的范畴。

在各种再生资源中，可进行材料回收再生的范围非常广泛，可以发展的再生材料主要有以下 9 种：废金属、废纸、废塑料、废橡胶、废电池、废玻璃、废木材、废汽车以及电子废物（包括废旧家电、废旧手机、废旧电脑等电子产品）等。图 1-4 描述了自然资源、再生资源和再生材料的关系。

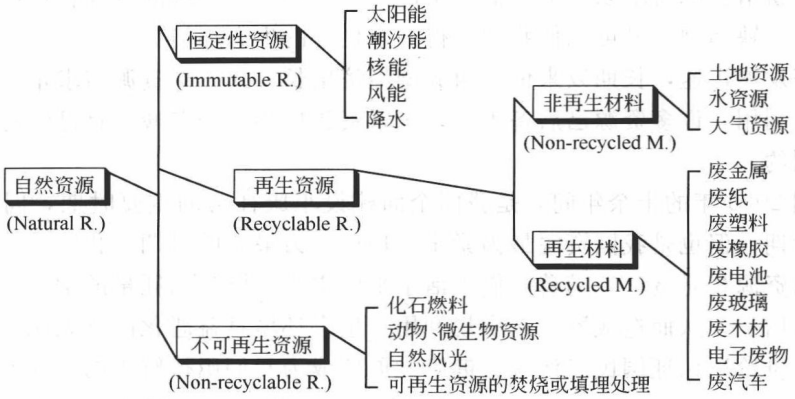


图 1-4　自然资源、再生资源和再生材料的关系

在再生资源转变为再生材料的过程中，遇到的首要问题是各种再生资源成分的复杂性。废金属、废玻璃、废木材等再生资源之所以比较容易转变为相应的再生材料，主要是由于其成分单一，不会给后续再循环或制造过程带来不利影响。而废塑料、电子废物、废纸、废电池、废橡胶、废汽车等再生资源的循环利用，必须解决各有用成分之间的分离问题，涉及再生资源的物理化学分选。

为了使可进行材料回收的再生资源转变为再生材料，可以依据再生资源中各有用成分的物理化学特性的差异，采用物理的或化学的方法实现各有用成分的高效分离与材料回收，我们将这一过程称之为再生资源的物理化学分选，其研究的重点在于再生资源的物理化学特性及各分离过程的物理化学原理。

参 考 文 献

[1] 过建春．自然资源与环境经济学．北京：中国林业出版社，2007.

[2] 王淀佐，邱冠周，胡岳华．资源加工学．北京：科学出版社，2005.

[3] 陈德敏．循环经济的核心内涵是资源循环利用-兼论循环经济概念的科学运用．中国人口、资源与环境，2004，14（2）：12-15.

[4] 邱定蕃．资源循环．中国工程科学，2002，4（10）：31-35.

[5] 邱定蕃．资源循环利用对有色金属工业发展的影响．矿冶，2003，12（4）：34-36.

[6] 钮因健，翟听．要从资源循环的高度认识金属回收利用的科技开发工作．有色金属再生与利用，2004（4）：1-2.

[7] 周廉．材料科学与工程发展现状与趋势．科技信息，2000（5）：10-13.

[8] 周尧和，孙宝德，李天晓，等．材料科学的一个新生长点——生态材料学．上海交通大学学报，2001，35（3）：331-334.

[9] 左铁铺，翁端．国外环境材料的研究进展及发展动向．材料导报，1997，11（5）：1-4.

[10] 王峰．我国再生材料产业细分领域分析．中国科技成果，2005（16）：12-15.

第2章 选前准备

选前准备是对再生资源物料进行有效分选的首要前提。一方面，是因为每种分选方法都是利用再生资源物料中不同组分之间的某些物理和化学性质的差异进行的，所以，物料在分选作业之前必须使其中的不同组分彼此解离开；另一方面，是由于任何一种分选方法都有其适宜的给料粒度，而待分选的物料粒度又往往比较大，例如矿山开采出来的矿石，最大块粒度一般都在数百毫米以上。因此，在分选作业之前，必须设置破碎和磨矿作业，以准备出欲回收组分充分解离、粒度符合要求的入选物料。

2.1 碎散物料的粒度组成及分析

选前准备所包括的破碎、筛分和磨矿、分级等作业，处理的都是碎散物料，给料和产物的粒度组成情况是评价这些工作情况的一项重要技术指标。为了准确而客观地评价它们的作业效果，规范碎散物料粒度组成的表示方法和分析方法是非常必要的。

2.1.1 粒度组成及粒度分析

2.1.1.1 粒度及其表示方法

破碎筛分、磨碎分级与分选加工的物料均是碎散物料群体，构成该群体的颗粒大小不一，形状各异，在技术上通常引入“粒度”、“粒级”、“粒度组成”及“平均粒度”等概念来描述它们的特性——粒度特性。

（1）粒度　描述单一颗粒大小的尺寸称为粒度。球形或立方体颗粒的粒度即为直径或边长；对于外形不规则的颗粒，其粒度以三维尺寸（长 a、宽 b、厚 c）的算术平均值 $d=(a+b+c)/3$ 或几何平均值 $d=\sqrt[3]{abc}$ 表示。

（2）粒级　用某种方法（如筛分）将粒度范围宽的物料群分离成若干个粒度范围窄的级别，这些级别均称为粒级，各粒级均以其上限粒度（d_1）及下限粒度（d_2）表示，如 $d_1\sim d_2$ 或 $d_2\sim d_3$ 或 $-d_1+d_2$。

（3）粒度组成　上述各粒级按粗、细不同顺序排列，并指明各粒级占物料群总量的质量百分率，这种资料称为粒度组成。它描述物料群的粒度分布情况，通常以粒度组成表表示。

（4）平均粒度　描述物料群的粒度称为平均粒度。对 $d_1/d_2<\sqrt{2}$ 的粒级，即粒度范围较窄的物料群，其平均粒度 $d=(d_1+d_2)/2$；对于粒度范围较宽的物料群，通常有数个粒级，要用统计学上求平均值的方法计算其加权算术平均粒度 d_s，或加权几何平均粒度 d_j，或加