



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

# 矿产资源综合利用

主 编 张 佶

副主编 彭芬兰 廖 佳

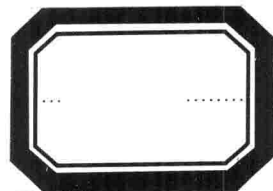
主 审 王 资



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材



# 矿产资源综合利用

主 编 张 佶  
副主编 彭芬兰 廖 佳  
主 审 王 资



北 京  
冶金工业出版社

## 内 容 提 要

本书全面地介绍了矿产资源综合利用的基本知识及相关法律法规、资源综合利用的基本原理和方法,详细介绍了金属矿产资源及非金属矿产资源的综合利用方法与途径、工业固体废弃物的综合利用方法和再生资源回收利用途径。本书共分7章,内容包括绪论、矿产资源综合利用管理与评价、有色金属矿产资源的综合利用、非金属矿产资源的综合利用、矿山二次资源的综合利用、其他工业固体废弃物综合利用、再生资源回收利用。

本书内容新颖,涉及范围广,实用性较强,有针对性。每章均有大量实例,章后附有小结和复习思考题。本书既可作为高等院校冶金、选矿及相关专业的教学用书,也可作为冶金行业选矿技师、高级技师及相关企业工人的培训教材,还可供从事矿产资源综合利用工作的管理、生产、科研、设计人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

矿产资源综合利用/张喆主编. —北京:冶金工业出版社, 2013. 9

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6404-2

I. ①矿… II. ①张… III. ①矿产资源—综合利用  
—高等学校—教材 IV. ①TD98

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第232965号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号, 邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 张耀辉 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 禹蕊 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6404-2

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 北京百善印刷厂印刷

2013年9月第1版, 2013年9月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 14.5印张; 350千字; 221页

30.00元

冶金工业出版社投稿电话: (010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街46号(100010) 电话: (010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

# 前 言

改革开放以来，我国经济持续快速增长，各项建设取得了巨大成就。与此同时，也付出了资源和环境代价，经济发展与资源环境的矛盾日益突出。有鉴于此，我国把可持续发展确定为国家战略，开展资源综合利用，推动循环经济发展，是我国转变经济发展方式，走新型工业化道路，建设资源节约型、环境友好型社会的重要措施。

矿产资源是大自然对人类的馈赠，是人类赖以生存和发展的物质基础，怎样利用好地球上有限的矿产资源是当前世界各国共同关心的重大问题。我国十分重视矿产资源的节约与综合利用，党的十八大提出了“美丽中国”和“生态文明”的概念，与此同时，我国还制定了《矿产资源节约与综合利用“十二五”规划》，将矿产资源节约与综合利用摆在了更加突出的位置，致力于全面提高矿产资源开发利用效率和水平，加快转变矿业发展方式，使环境与经济、社会发展相协调，又同时获得经济效益、社会需要、资源效益和环境效益的相对统一。

本书由张佶担任主编，彭芬兰、廖佳担任副主编；全书由张佶负责统稿和整理。各章编写人员如下：张佶、廖佳编写第1章，张佶、黄云平编写第2章，李志章、许志安编写第3章，周小四编写第4章，陈斌编写第5章，彭芬兰编写第6章，彭芬兰、廖佳编写第7章。李芬锐参加了案例选用、校对等工作，全书由王资主审。在编写过程中参考了许多著作及文献资料，在此对各位学者表示衷心的感谢。

目前市场上系统阐述矿产资源综合利用方面的书籍较少，本书试图尽可能详细地介绍矿产资源综合利用方面的知识和技术，对读者有所帮助。但由于矿产资源综合利用技术是一个涉及多学科、多部门的综合性系统工程，内容广、难度大，加之编者水平所限，不妥之处，恳请广大读者对本书提出宝贵意见与建议，以便修订时完善。

编 者

2012年5月16日于昆明

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1 绪论 .....                    | 1  |
| 1.1 自然资源与可持续发展 .....          | 1  |
| 1.1.1 自然资源 .....              | 1  |
| 1.1.2 可持续发展 .....             | 2  |
| 1.1.3 自然资源的可持续利用 .....        | 3  |
| 1.1.4 循环经济与二次资源 .....         | 4  |
| 1.2 矿产资源的概念、特点及分类 .....       | 6  |
| 1.2.1 矿产资源的概念 .....           | 6  |
| 1.2.2 矿产资源的特点 .....           | 6  |
| 1.2.3 矿产资源的分类 .....           | 8  |
| 1.2.4 我国的矿产资源概况 .....         | 9  |
| 1.2.5 补充矿产资源的途径 .....         | 10 |
| 1.3 矿产资源综合利用的重要性 .....        | 11 |
| 1.3.1 矿产资源综合利用的含义 .....       | 11 |
| 1.3.2 矿产资源综合利用的必要性 .....      | 11 |
| 1.3.3 矿产资源综合利用的紧迫性 .....      | 12 |
| 1.4 我国矿产资源综合利用的现状与形势 .....    | 13 |
| 1.4.1 矿产资源节约与综合利用取得明显进展 ..... | 13 |
| 1.4.2 我国矿产资源节约与综合利用潜力巨大 ..... | 14 |
| 1.4.3 矿产资源节约与综合利用面临新的挑战 ..... | 14 |
| 1.5 矿产资源综合利用的发展方向 .....       | 15 |
| 1.5.1 提高矿产资源综合利用水平的基本途径 ..... | 15 |
| 1.5.2 矿产资源综合利用的发展方向 .....     | 15 |
| 本章小结 .....                    | 16 |
| 复习思考题 .....                   | 17 |
| 参考文献 .....                    | 18 |
| 2 矿产资源综合利用管理与评价 .....         | 19 |
| 2.1 方针政策 .....                | 19 |
| 2.1.1 指导方针 .....              | 19 |
| 2.1.2 总体要求 .....              | 19 |
| 2.1.3 政策法律 .....              | 20 |

|                                           |           |
|-------------------------------------------|-----------|
| 2.1.4 长效机制的构建 .....                       | 21        |
| 2.2 矿产资源综合开发利用程度评价 .....                  | 23        |
| 2.2.1 我国现行的矿产综合利用程度评价指标 .....             | 23        |
| 2.2.2 建立矿产资源节约与综合利用评价指标体系 .....           | 24        |
| 2.3 贯彻“四个”综合,提高矿产资源综合利用的水平 .....          | 26        |
| 2.3.1 “四个”综合的含义与要求 .....                  | 26        |
| 2.3.2 “四个”综合的相互关系 .....                   | 27        |
| 2.3.3 矿产资源综合勘探和综合评价的任务 .....              | 27        |
| 2.3.4 对矿床中伴生有益元素和组分进行综合勘探和综合评价的确定依据 ..... | 27        |
| 本章小结 .....                                | 28        |
| 复习思考题 .....                               | 28        |
| 参考文献 .....                                | 29        |
| <b>3 有色金属矿产资源的综合利用 .....</b>              | <b>30</b> |
| 3.1 概述 .....                              | 30        |
| 3.1.1 我国主要有色金属矿床的伴(共)生组分 .....            | 30        |
| 3.1.2 综合利用的伴生元素分类 .....                   | 30        |
| 3.1.3 我国有色金属综合利用现状 .....                  | 31        |
| 3.2 铜矿石的综合开发利用 .....                      | 31        |
| 3.2.1 概述 .....                            | 31        |
| 3.2.2 我国的铜矿产资源 .....                      | 32        |
| 3.2.3 铜矿石的综合开发利用 .....                    | 33        |
| 3.3 铝矿石的综合开发利用 .....                      | 37        |
| 3.3.1 概述 .....                            | 37        |
| 3.3.2 我国的铝土矿矿产资源 .....                    | 39        |
| 3.3.3 铝土矿的选冶加工及其综合利用 .....                | 40        |
| 3.4 铅锌多金属矿石的综合开发利用 .....                  | 43        |
| 3.4.1 概述 .....                            | 43        |
| 3.4.2 我国的铅锌矿产资源 .....                     | 44        |
| 3.4.3 铅锌矿石的综合开发利用 .....                   | 44        |
| 3.5 钨矿石的综合开发利用 .....                      | 47        |
| 3.5.1 概述 .....                            | 47        |
| 3.5.2 我国的钨矿产资源 .....                      | 48        |
| 3.5.3 钨矿石的综合开发利用 .....                    | 48        |
| 3.6 锡矿石的综合开发利用 .....                      | 51        |
| 3.6.1 概述 .....                            | 51        |
| 3.6.2 锡多金属矿矿物组成及特点 .....                  | 52        |
| 3.6.3 我国的锡矿资源综合利用 .....                   | 53        |
| 3.7 金属矿产中伴生金银的综合开发利用 .....                | 59        |
| 3.7.1 概述 .....                            | 59        |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 3.7.2 伴生金银矿床类型及其特征与赋存规律 .....        | 60         |
| 3.7.3 金银的矿物种类及研究方法 .....             | 61         |
| 3.7.4 金银的赋存状态及其对选冶回收的影响 .....        | 61         |
| 3.7.5 有色金属矿产中伴生金银的综合开发利用 .....       | 62         |
| 本章小结 .....                           | 67         |
| 复习思考题 .....                          | 67         |
| 参考文献 .....                           | 68         |
| <b>4 非金属矿产资源的综合利用 .....</b>          | <b>69</b>  |
| 4.1 概述 .....                         | 69         |
| 4.1.1 非金属矿产的特点 .....                 | 69         |
| 4.1.2 我国的非金属矿产资源 .....               | 70         |
| 4.2 非金属矿产资源的综合开发利用 .....             | 72         |
| 4.2.1 石墨矿 .....                      | 72         |
| 4.2.2 萤石矿 .....                      | 80         |
| 4.2.3 磷矿石 .....                      | 85         |
| 4.2.4 钾矿石 .....                      | 89         |
| 4.3 金属矿产伴生的非金属矿产综合开发利用 .....         | 93         |
| 4.3.1 伴生非金属矿产的综合开发利用的意义 .....        | 93         |
| 4.3.2 综合开发利用实例 .....                 | 93         |
| 4.4 新兴的非金属矿产资源和传统非金属矿产资源新的应用领域 ..... | 95         |
| 4.4.1 玄武岩及其开发利用 .....                | 95         |
| 4.4.2 高岭土及其开发利用 .....                | 96         |
| 4.4.3 非金属矿物和岩石在肥料中的应用 .....          | 96         |
| 4.5 非金属矿产资源开发利用的发展趋势 .....           | 98         |
| 4.5.1 认识矿物的应用性能 .....                | 98         |
| 4.5.2 提高矿物加工技术 .....                 | 98         |
| 4.5.3 大力开发复合材料 .....                 | 98         |
| 本章小结 .....                           | 99         |
| 复习思考题 .....                          | 99         |
| 参考文献 .....                           | 100        |
| <b>5 矿山二次资源的综合利用 .....</b>           | <b>101</b> |
| 5.1 概述 .....                         | 101        |
| 5.1.1 矿山二次资源的概念 .....                | 101        |
| 5.1.2 矿山二次资源的特点 .....                | 101        |
| 5.1.3 我国矿山二次资源综合利用的潜力 .....          | 102        |
| 5.2 矿山废石处理工程 .....                   | 103        |
| 5.2.1 矿山废石的一般处理方法 .....              | 103        |
| 5.2.2 废石和尾矿复田实例 .....                | 104        |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 5.2.3 尾矿的综合开发利用 .....        | 105        |
| 5.3 尾矿处理工程 .....             | 106        |
| 5.3.1 目的金属组分的分布特征和利用 .....   | 106        |
| 5.3.2 尾矿的分类及其特征 .....        | 107        |
| 5.3.3 尾矿的综合处理与利用 .....       | 108        |
| 5.4 尾矿综合利用的实例 .....          | 110        |
| 5.4.1 尾矿再选 .....             | 110        |
| 5.4.2 尾矿的直接应用 .....          | 112        |
| 5.5 尾矿综合利用的现状、对策及发展方向 .....  | 113        |
| 5.5.1 尾矿综合利用的现状 .....        | 114        |
| 5.5.2 我国尾矿综合利用存在的问题与对策 ..... | 115        |
| 5.5.3 尾矿利用的发展方向 .....        | 116        |
| 本章小结 .....                   | 117        |
| 复习思考题 .....                  | 117        |
| 参考文献 .....                   | 118        |
| <b>6 其他工业固体废弃物综合利用 .....</b> | <b>119</b> |
| 6.1 概述 .....                 | 119        |
| 6.1.1 工业固体废物的产生 .....        | 119        |
| 6.1.2 工业固体废物的分类 .....        | 120        |
| 6.1.3 工业固体废物的综合利用价值 .....    | 120        |
| 6.1.4 工业固体废物的综合利用途径 .....    | 122        |
| 6.2 钢铁冶金工业固体废物综合利用 .....     | 123        |
| 6.2.1 高炉渣 .....              | 124        |
| 6.2.2 钢渣 .....               | 127        |
| 6.3 有色冶金工业固体废物综合利用 .....     | 131        |
| 6.3.1 铜渣 .....               | 134        |
| 6.3.2 冶锌废渣 .....             | 137        |
| 6.3.3 钼渣 .....               | 140        |
| 6.3.4 钨渣 .....               | 142        |
| 6.3.5 其他废渣 .....             | 143        |
| 6.4 煤矸石的综合利用 .....           | 147        |
| 6.4.1 煤矸石化学成分和矿物组成 .....     | 148        |
| 6.4.2 煤矸石的处理方法 .....         | 148        |
| 6.4.3 煤矸石的利用途径 .....         | 148        |
| 6.5 粉煤灰的综合利用 .....           | 152        |
| 6.5.1 粉煤灰的来源、组成和性质 .....     | 152        |
| 6.5.2 粉煤灰综合利用技术 .....        | 155        |
| 6.6 硫酸工业固体废物综合利用 .....       | 161        |
| 6.6.1 硫铁矿烧渣的来源及组分 .....      | 162        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 6.6.2 硫铁矿烧渣的综合利用技术 .....        | 162        |
| 6.6.3 硫酸工业其他固体废物综合利用 .....      | 164        |
| 6.7 其他化工固体废物综合利用 .....          | 164        |
| 6.7.1 有机原料及合成材料工业固体废物处理工程 ..... | 164        |
| 6.7.2 染料工业固体废物处理工程 .....        | 165        |
| 6.8 废催化剂处理工程 .....              | 165        |
| 6.8.1 废催化剂回收方法 .....            | 166        |
| 6.8.2 废催化剂回收贵金属一般工艺 .....       | 166        |
| 6.8.3 典型的废催化剂回收利用工艺 .....       | 166        |
| 6.9 感光材料工业固体废物综合利用 .....        | 169        |
| 6.9.1 废物来源及组成 .....             | 169        |
| 6.9.2 综合治理技术 .....              | 169        |
| 本章小结 .....                      | 170        |
| 复习思考题 .....                     | 171        |
| 参考文献 .....                      | 171        |
| <b>7 再生资源回收利用 .....</b>         | <b>172</b> |
| 7.1 废旧家电的回收利用 .....             | 173        |
| 7.1.1 问题与管理 .....               | 173        |
| 7.1.2 一般处理方法 .....              | 175        |
| 7.1.3 废旧家电的回收利用 .....           | 175        |
| 7.2 废金属的回收利用 .....              | 176        |
| 7.2.1 废钢铁的回收 .....              | 177        |
| 7.2.2 废有色金属的回收 .....            | 178        |
| 7.3 废纸的回收利用 .....               | 181        |
| 7.3.1 废纸再生工序与设备 .....           | 181        |
| 7.3.2 废纸脱墨工艺 .....              | 186        |
| 7.3.3 废纸处理新技术 .....             | 188        |
| 7.4 废塑料的回收利用 .....              | 191        |
| 7.4.1 塑料的种类与废塑料的来源 .....        | 191        |
| 7.4.2 废塑料的分选 .....              | 193        |
| 7.4.3 废塑料生产建筑材料 .....           | 195        |
| 7.4.4 废塑料热解油化技术 .....           | 198        |
| 7.5 废橡胶的回收利用 .....              | 201        |
| 7.5.1 废橡胶的高温热解 .....            | 202        |
| 7.5.2 废橡胶生产胶粉 .....             | 204        |
| 7.6 废电池的回收利用 .....              | 207        |
| 7.6.1 废电池的种类与组成 .....           | 207        |
| 7.6.2 废电池中提取有价金属技术 .....        | 211        |
| 7.7 电子废物的回收利用 .....             | 215        |

---

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 7.7.1 电子废物的来源与组成 ..... | 215 |
| 7.7.2 电子废物的回收技术 .....  | 217 |
| 7.7.3 报废汽车的回收利用 .....  | 219 |
| 本章小结 .....             | 220 |
| 复习思考题 .....            | 220 |
| 参考文献 .....             | 220 |

# 1 绪 论

## 1.1 自然资源与可持续发展

### 1.1.1 自然资源

资源，顾名思义即“资材之源”，是创造人类社会财富的源泉。

狭义的资源，指的是自然资源。广义的资源，指的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，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。资源的来源及组成，不仅是自然资源，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。

#### 1.1.1.1 自然资源的概念

《辞海》对自然资源的定义为：指天然存在的自然物（不包括人类加工制造的原材料），如土地资源、矿产资源、水利资源、生物资源、气候资源等，是生产的原料来源和布局场所。

联合国环境规划署定义为：在一定的时间、地点条件下，能够产生经济价值以提高人类当前和未来福利的自然环境因素的总称。

概括地说，自然资源是指存在于自然界中，在一定的经济技术条件下，可以被用来改善生产和生活状态的一切物质和能量的总称。自然资源具有可用性、整体性、变化性、空间分布不均匀性和区域性等特点，是社会物质财富的来源，是人类社会生存和发展的重要物质基础，也是可持续发展的重要依据之一。随着社会生产力水平的提高与科学技术的进步，部分自然条件可转换为自然资源，如随海水淡化技术的进步，在干旱地区，部分海水和咸湖水有可能成为淡水的来源。

#### 1.1.1.2 自然资源的分类

由于自然资源种类繁多，目前尚无统一的分类。从不同的角度，可对自然资源进行不同的分类，如：

依据利用目的可将自然资源划分为：农业资源、药物资源、能源资源、旅游资源等；

依据圈层特征可将自然资源划分为：土地资源、气候资源、水资源、矿产资源、生物资源、能源资源、旅游资源、海洋资源等。

依据一些共同特征可将自然资源进行分类，如图 1-1 所示。

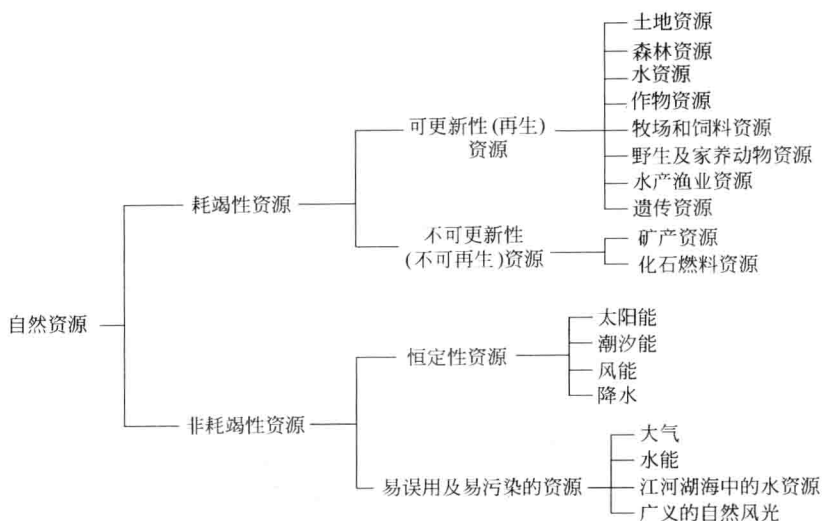


图 1-1 自然资源的分类

**恒定性资源：**按人类的时间尺度来看是无穷无尽，也不会因人类利用而耗竭的资源。

**可更新性资源：**在正常情况下可通过自然过程再生的资源，如生物资源。

**不可更新性（不可再生）资源：**地壳中有固定储量的可得资源，由于它们不能在人类历史尺度上由自然过程再生，或由于它们再生的速度远远慢于被开采利用的速度，它们是可能耗竭的，如矿产资源。

### 1.1.2 可持续发展

#### 1.1.2.1 可持续发展的含义

可持续发展的概念最早是 1972 年在斯德哥尔摩举行的联合国人类环境研讨会上正式讨论的。20 世纪 80 年代，一些全球性的环境问题逐步被认识，可持续发展问题被列入世界各级公共组织的议事日程。1987 年，挪威首相布伦特兰夫人出任联合国世界环境与发展委员会主席，出版报告《我们共同的未来》，即著名的布伦特兰报告。报告以大量充分的调查分析，阐述了可持续发展的基本概念、主要问题及行动方略。该报告经 42 届联大通过后，成为世界各国在环境保护和经济发展方面的纲领性文件。报告将可持续发展定义为：“既能满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展。”这个定义系统阐述了可持续发展的思想，被广泛接受并引用。

中国政府编制了《中国 21 世纪人口、资源、环境与发展白皮书》，首次把可持续发展战略纳入我国经济和社会发展的长远规划。1997 年的中共十五大把可持续发展战略确定为我国“现代化建设中必须实施”的战略。江泽民在中国共产党十五大上的报告中指出：“我国是人口众多、资源相对不足的国家，在现代化建设中必须实施可持续发展战略”，“正确处理经济发展同人口、资源、环境的关系。资源开发和节约并举，把节约放在首位，提高资源利用效率”。可见，资源的可持续发展在可持续发展战略中占有极其重要的地位。

可持续发展主要包括社会可持续发展、生态可持续发展、经济可持续发展三个方面。首先,可持续发展以资源的可持续利用和良好的生态环境为基础;其次,可持续发展以经济可持续发展为前提;再次,可持续发展问题的中心是人,以谋求社会的全面进步为目标。可持续发展的核心思想是:经济发展、保护资源和保护生态环境协调一致,让子孙后代能够享受充分的资源和良好的资源环境。

可持续发展是发展与可持续的统一,发展是前提,是基础,持续性是关键,没有发展,也就没有必要讨论是否可持续了;没有持续性,发展就行将终止。两者相辅相成,互为因果。可持续发展战略追求的是近期目标与长远目标、近期利益与长远利益的最佳兼顾,经济、社会、人口、资源、环境的全面协调发展。

#### 1.1.2.2 可持续发展的意义

(1) 实施可持续发展战略,有利于促进生态效益、经济效益和社会效益的统一。

(2) 有利于促进经济增长方式由粗放型向集约型转变,使经济发展与人口、资源、环境相协调。

(3) 有利于国民经济持续、稳定、健康发展,提高人民的生活水平和质量。

(4) 从注重眼前利益、局部利益的发展转向长期利益、整体利益的发展,从物质资源推动型的发展转向非物质资源或信息资源(科技与知识)推动型的发展。

(5) 我国人口多、自然资源短缺、经济基础和科技水平落后,只有控制人口、节约资源、保护环境,才能实现社会和经济的良性循环,使各方面的发展能够持续有后劲。

### 1.1.3 自然资源的可持续利用

#### 1.1.3.1 自然资源可持续利用的含义

自然资源的可持续利用是实现人类可持续发展的基本前提。不同类型的自然资源,可持续利用具有不同的含义。不可再生资源因为其不可再生,其可持续利用实际上是最优耗竭问题。它包括两个方面的内容:(1)在不同时期合理配置有限的资源;(2)使用可更新资源代替可耗竭资源。对于可更新资源来说,主要是合理利用资源,以实现资源的永续利用。

人类利用自然资源进行生产的目的是为了发展经济,并最终实现人类生活福利水平的提高。可持续发展的最终目标是人和社会的发展,而社会发展必须以经济发展为基础和前提。既要保障经济可持续发展,又必须使自然资源和环境能够可持续地为人类所利用,二者相辅相成。由此,可将自然资源的可持续利用定义为:在人类现有认识水平可预知的时期内,在保证经济发展对自然资源需求满足的基础上,能够保持或延长自然资源生产使用性和自然资源基础完整性的利用方式。

根据定义,自然资源可持续利用的基本内涵可以包括以下几个方面:

(1) 自然资源的可持续利用必须以满足经济发展对自然资源的需求为前提。

(2) 自然资源可持续利用的“利用”是指自然资源的开发、利用、保护、治理全过程,而不单指自然资源的利用。

(3) 自然资源生态质量的保持和提高,是自然资源可持续利用的重要体现。

(4) 在一定的社会、经济、技术条件下,自然资源的可持续利用对自然资源数量有一定的要求。自然资源的可持续利用必须在可预期的经济、社会和技术水平上保证一定自

然资源数量以满足后代人生产和生活的需要。

(5) 自然资源的可持续利用是一个综合的和动态的概念。

### 1.1.3.2 自然资源可持续利用的实现途径

实现自然资源可持续利用的途径主要有：

(1) 建立和完善保障自然资源可持续利用的信息系统。自然资源信息是指反映自然资源利用过程中自然资源的数量、质量、分布、权属、利用程度、形式及其发展变化的消息、情报、资料等的统称。它是自然资源可持续利用综合管理的重要依据，是各级部门制定可持续资源利用决策的重要参考。

(2) 建立和完善自然资源可持续利用的政策体系。自然资源可持续利用的政策体系包括两个方面：一方面是鼓励那些采取自然资源可持续利用的经济行为和发展方式的企业和个人；另一方面是处罚那些违背可持续利用原则，对自然资源采取破坏性开采和利用方式的企业和个人。自然资源可持续利用政策体系一般包括：促进自然资源可持续利用的产业政策、投资政策、技术开发政策、财政税收政策、资金信贷政策、价格政策等等。

(3) 建立和完善自然资源可持续利用的法律法规体系。

(4) 研究开发能够节约利用资源、提高资源利用效率的技术体系。

(5) 实施循环经济发展模式，缓解资源（特别是不可再生资源）的耗竭速度，为人类寻找新的替代资源赢得时间，促进人类可持续发展目标的实现。

(6) 倡导可持续消费模式，节约和回收利用资源，促进资源的可持续利用。

(7) 适度的人口规模和人口增长率。

因此，实现资源的可持续利用，需要经济、社会、技术、制度、法律等各方面的保障，是一个综合系统。

## 1.1.4 循环经济与二次资源

### 1.1.4.1 循环经济的定义

循环经济是一种以资源的高效利用和循环利用为核心，以“减量化、再利用、资源化”为原则，以低消耗、低排放、高效率为基本特征，符合可持续发展理念的经济增长模式，是对“大量生产、大量消费、大量废弃”的传统增长模式的根本变革。其目的是通过资源高效和循环利用，实现污染的低排放甚至零排放，保护环境，实现社会、经济与环境的可持续发展。

《中华人民共和国循环经济促进法》规定：循环经济，是指在生产、流通和消费等过程中进行的减量化、再利用、资源化活动的总称。减量化，是指在生产、流通和消费等过程中减少资源消耗和废物产生。再利用，是指将废物直接作为产品或者经修复、翻新、再制造后继续作为产品使用，或者将废弃物的全部或者部分作为其他产品的部件予以使用。资源化，是指将废弃物直接作为原料进行利用或者对废物进行再生利用。循环经济发展模式见图 1-2。

### 1.1.4.2 循环经济的基本特征

传统经济是“资源—产品—废弃物”的单向直线过程，创造的财富越多，消耗的资源和产生的废弃物就越多，对环境资源的负面影响也就越大。循环经济则以尽可能小的资源消耗和环境成本，获得尽可能大的经济和社会效益，从而使经济系统与自然生态系统的

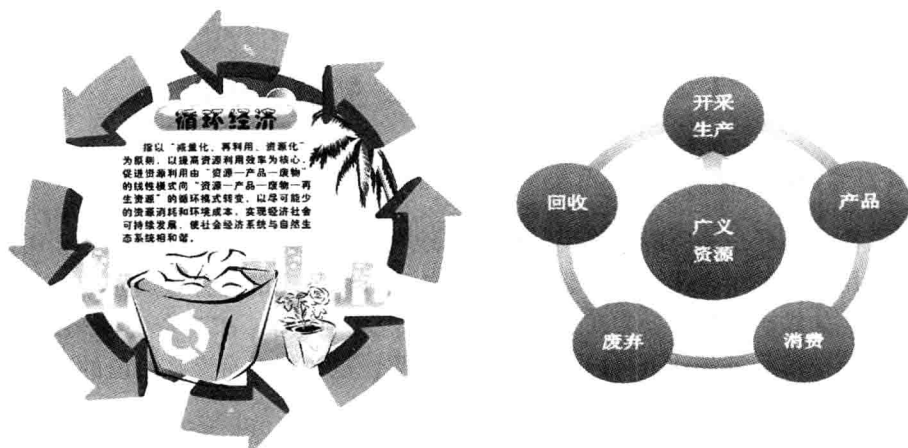


图 1-2 循环经济发展模式

物质循环过程相互和谐，促进资源永续利用。因此，循环经济是对“大量生产、大量消费、大量废弃”的传统经济模式的根本变革。其基本特征是：

- (1) 在资源开采环节，要大力提高资源综合开发和回收利用率。
- (2) 在资源消耗环节，要大力提高资源利用效率。
- (3) 在废弃物产生环节，要大力开展资源综合利用。
- (4) 在再生资源产生环节，要大力回收和循环利用各种废旧资源。
- (5) 在社会消费环节，要大力提倡绿色消费。

从资源利用的技术层面来看，循环经济的发展主要是从资源的高效利用、循环利用和无害化生产三条技术路径来实现。

#### 1.1.4.3 二次资源

我们可将矿产资源分为一次开发利用的资源和二次（含多次）开发利用的资源两大类。

二次资源（或再生资源），系指能代替一次资源作为工业原料、燃料的废旧物资和工业“三废”（废渣、废气、废液）、矿山“三废”（废石、尾矿、矿坑水）以及人造矿物原料等资源。开发利用二次资源是工业化发展的必然，是资源的有效合理利用和永续供给的必由之路，它对经济建设、环境保护和资源利用协调发展有重要意义。

二次开发利用的资源的补充途径如下：

- (1) 废旧资源的回收利用。再生钢铁；再生有色金属。
- (2) 工业“三废”的利用。
- (3) 人造矿物原料。

人造矿物原料，包括人工合成矿物和工业生产中的副产物。人工合成矿物如人造金刚石、水晶、刚玉及红宝石，合成硅灰石、云母、明矾等，均已投入商业性生产。工业副产物如黄磷生产的尾渣，即为硅灰石资源。

人造矿物，物质来源广，可综合利用废料，利于环境保护，增加收益，具再生性，又可弥补天然矿产资源的不足。因此，补充资源的最大潜力是人工合成矿物原料。从长远战

略上看,人造矿物原料则是扩大或补充矿产资源的最大潜力所在。

## 1.2 矿产资源的概念、特点及分类

### 1.2.1 矿产资源的概念

矿产资源是指经过地质成矿作用,蕴藏在地壳中并具有利用价值或潜在利用价值的各种矿物或有用元素的集合体,包括呈固体、液体或气体状态的各种金属矿产、非金属矿产和能源矿产,如铁矿、铜矿、铝矿、磷矿、石油、天然气等。矿产资源概念具有相对性,既包括在当前技术经济条件下可以开发利用的物质,也包括具有潜在价值的在未来条件下可以开发利用的物质。

矿产资源是重要的自然资源,是人类赖以生存和发展的重要物质基础,也是国际政治、经济、贸易乃至科技、文化交往的重要物质手段。现代社会人们的生产和生活都离不开矿产资源。据统计,目前社会生产所需的80%左右的原材料、95%左右的能源、70%左右的农业生产资料来自矿产资源。因此,矿产在很大程度上决定着社会生产力的发展水平和社会变迁。从石器时代到青铜器时代、铁器时代,乃至现代的原子和电子时代,人类社会生产力的每一次巨大进步,都伴随着一次矿产资源利用水平的巨大飞跃。矿产资源的丰富及其开发利用程度是社会发展水平的一个标志,是衡量一个国家经济发达和科学技术水平的重要尺度。

矿产资源是大自然对人类的馈赠,但并不是无代价的,也不是无限的。对矿产资源的开发、利用是人类社会发展的前提和动力。怎样利用好地球上有限的矿产资源是当前世界各国共同关心的重大问题。

### 1.2.2 矿产资源的特点

与其他自然资源相比,矿产资源具有如下特点:

(1) 自然性。矿产资源是一种自然资源,是自然生成的。

(2) 不可再生性。它不像农、林、牧等资源,它是在地球几十亿年的漫长历史过程中,经过各种地质作用形成的,一旦被开采利用,在人类历史进程中则难以再生出来。也就是说,在一定的技术经济条件下,有经济价值的矿产是有限的。

(3) 地理分布的不均匀性。因为地壳运动、地质作用的不均匀性和千差万别,致使矿产资源在地理分布上的不平衡性、不均匀性十分突出。例如,在29种主要金属矿产中,有19种矿产储量的3/4集中在5个国家,如南非金、铬铁矿等5种矿产储量占世界总储量的1/2以上;中国的钨、锑占世界总储量的1/2多,中国的稀土资源占世界总储量的90%以上;煤主要集中在中国、美国和前苏联,约占世界总储量的70%以上;石油则主要集中在海湾国家;智利国土面积相当于我国青海省,但铜矿资源量列世界之首。

#### 资料:元素在地壳中的分布和克拉克值

地壳是由物质组成的,其最小单位就是化学元素。组成地壳的元素从种类上讲,几乎包括了元素周期表上的所有元素。为了研究元素在地壳中的分布规律,不少学者采集了世

界各地的各种岩石样品和矿物标本,进行了大量的化学分析。在大量资料的基础上,1889年美国学者克拉克统计了全球地壳中的化学分析资料,计算出了每一种化学元素的质量分数,并把它公之于世。当时他是依据全世界大约 5159 个样品的结果来统计的。尽管后来随着样品数量的增加和采样方法的精确及采样地点的增加,有些学者对克拉克的统计不断进行补充和修正,给出一些新的资料和数据,但为了纪念克拉克的功绩,后人把元素在地壳中的质量分数称为克拉克值。当然也因为研究和生产工作的需要,在一些较小的区域或一定的地壳构造单元内取得的元素的质量分数,称为元素的丰度,以此和全地壳的元素含量(克拉克值)相区别。

有了克拉克值就容易讨论元素在地壳中的分布规律了。把它绘制成图就更加清晰明了(图 1-3)。其主要特征为:(1)元素的含量很不均一,十分悬殊;(2)氧和硅是最主要的组成元素,占总量的 75%~76%;(3)组成地壳的主要元素包括:氧、硅、铝、铁、钙、钠、镁、钾 8 种,共占总量的 98% 以上。其他数十种元素总含量都很小,约为 2%。

由上可见,元素的含量和分布在地壳中都是不均一的,但它们常常又可以因为某些原因而发生迁移,如水的溶解可以把某些元素带走,化学反应也可使某些元素迁移;相反,也可以在特定条件下使某元素聚集起来。所以总体说来,元素在地壳中的分布是不断变化的。就全地壳来说,克拉克值是基本不变或很少变化的,而具体到每一个地点、地区或局部范围内,在一定的时间内元素的含量则是可以变化的,就是因为元素在地球上可以迁移和富集所致。正是这种迁移和富集的活动过程,才可能导致某些元素的集中而形成一定的矿产资源,或者由于迁移而使某些资源受到破坏。地壳中某些元素的含量是很少的,其克拉克值很低,似乎很难形成矿产,但在一些特定的地质条件下,它们仍然可以富集成矿产,如果平均分布则不可能形成矿产。正如我们所知的许多被称为稀有分散的元素的确形成了某些重要矿产,形成了许多有重要利用价值的稀有元素矿产和贵金属矿产,构成了国民经济的重要自然矿产资源和物质财富。

(4) 受一定技术经济条件的制约性。以各种形式存在的矿产资源,只有在技术经济条件适合的情况下,才能被开发利用,否则得不偿失。随着科学技术的不断进步和社会经济的不断向前发展,很多原来被认为没有价值的物质,正逐渐成为可供人类开发利用的资源。如铝土矿在 1888 年以前为无用的岩石,自从这一年诞生了用铝土矿生产氧化铝的拜耳法之后,铝土矿就成为了至今唯一重要的铝矿资源。又如斑岩铜矿,因为品位很低在 1937 年以前未被利用,但随着选矿技术的发展和经济条件的改善,已成为重要的铜矿资源。

至今,已发现矿物 3400 多种,但被工业利用者占很小一部分。就矿产资源而言已发现矿产 168 种,已探明储量的有 156 种,不少矿产为近年才认识。可以预料,随着固体物

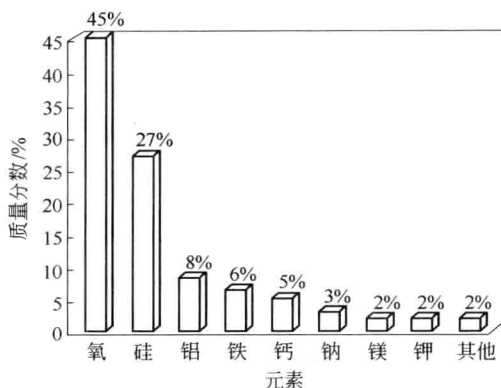


图 1-3 地壳中主要元素的质量分数图