

资源循环

邱定蕃

(北京矿冶研究总院, 北京 100044)

[摘要] 资源是一个国家可持续发展的基础。人类不能无限地开发自然资源(矿物), 而应该尽可能反复利用, 逐步建立起资源循环。资源循环学, 就是研究如何利用这些产物建立循环系统的科学。资源循环是一个规律, 是人类与自然和谐共处、可持续发展的必由之路。资源开发又与环境污染密切相关。尽早建立资源循环型社会, 有可能从根本上解决资源短缺和环境污染问题。建立资源循环型社会是一个系统工程, 需要政府重视, 制定相应法律, 科技、教育先行和全社会的共同努力。

[关键词] 资源; 资源循环; 资源开发; 资源型社会

[中图分类号] TD98; X7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)10-0031-05

1 资源在可持续发展中的地位

可持续发展问题, 是21世纪世界面对的最大中心问题之一, 它直接关系到人类文明的延续, 并成为直接参与国家最高决策的不可或缺的基本要素。

可持续发展的概念提出之后, 各国政府和广大社会公众都很快地接受了这一概念。在可持续发展过程中, 人口、资源、环境是起决定作用的三个基本因素。探讨它们在可持续发展过程中的影响和相互作用对形成可持续发展战略具有十分重要的意义。早在1980年3月5日, 联合国大会就向世界呼吁: 必须研究自然的、社会的、生态的、经济的以及利用自然资源过程中的基本关系, 确保全球的发展^[1]。

资源是可持续发展的基础, 没有资源就谈不上发展。一般来说, 资源应包括水资源、土地资源和矿产资源等。笔者在本文着重探讨矿产资源对可持续发展的影响。由于资源的开发利用与环境密切相关, 特别是资源的循环利用是解决环境污染的最有效途径; 矿产资源的开发过程中需要用水和排水, 需要占用土地和破坏土地, 因此, 矿产开发又与水资源和土地资源的保护或破坏密切相关。

中国资源的总量和品种在世界上居于前列, 但按人均计算则处于非常落后的位置。在水资源方面, 根据1997年人口统计, 全国人均水资源量为2220 m³。按联合国可持续发展委员会等7个有关组织1997年对全世界153个国家和地区所做的统计, 我国人均水资源量排在第121位。人均水资源量少于1700 m³的国家为用水紧张国家; 人均水资源量少于1000 m³为缺水国家; 人均水资源量少于500 m³的国家为严重缺水国家。长江以北地区人口占全国44.3%, 耕地占59.2%, GDP占42.8%, 人均水资源为747 m³, 预计到21世纪中叶, 我国人均水资源量将接近1700 m³^[2]。中国土地资源总量多, 但人均耕地少, 优质耕地更少, 可开发后备资源少。人均耕地仅为1060 m², 相当世界人均耕地的43%, 不及俄罗斯的1/8, 美国1/6, 加拿大1/15, 甚至只有印度的1/2。中国有151种矿产资源探明了储量, 其中20多种矿产探明的储量居世界前列, 资源总量仅次于前苏联和美国, 应该说, 中国是资源大国。但按人均计算, 中国人均矿产资源不及世界平均水平的1/2。此外, 矿产资源中贫矿多, 高品位矿少。据统计, 我国铁、锰、铜、磷贫矿所占比例分别为全国总储量的97%, 94%, 65%, 93%。中国矿产资源中伴生复

杂矿多,单一矿少^[3]。这就使矿物加工、金属分离和提取费用增高。

中国资源短缺的状况是客观存在的,未来经济社会发展同资源的矛盾会越来越突出,某些资源的短缺甚至有可能危及国家安全。中国不应该也不可能成为资源浪费型的社会。西方一些发达国家或资源相对丰富的国家,也越来越认识到资源节约和资源循环是唯一可行的可持续发展道路。人类不可能无限地向自然索取,地球也不可能无限地容忍我们随意丢弃废物。正如自然界存在的许多平衡一样,资源循环也是维持人类与自然和谐共处的一个法则,早一天认识并遵从这个规律,社会就可能持续发展;晚一天行动,就要付出更大的代价。

2 资源和资源循环

资源是一个范围很宽的词。于光远先生主编的经济大词典工业经济卷中是这样解释的:通常指自然界存在的天然物质财富。按恢复更新的能力,可分为不可恢复的(如各种矿石、石油等),可恢复的(如土壤、陆地和海洋中的自然植物和有益动物),取之不尽的(如水能和太阳辐射能)。在现代管理科学中,还包括人力资源。有人还把时间也列入资源的范畴,并认为时间是最稀有的资源。在电子计算机系统中所需要的硬件和软件的总称^[4]。

本文所探讨的资源当然是指自然界存在的天然物质财富。随着社会的进步,资源这个�的概念一定会发生变化。上述的定义中将矿石列为不可恢复的资源,如果从它的形状或组成来看,可能是对的。但如果从资源循环的概念来说,就不很完整了。自然界存在许许多多大大小小的循环。人类生存需要氧气而排出二氧化碳,森林和其它物质需要二氧化碳而在一定时间里排出氧气。人类饲养牲畜(如猪)为了吃肉,人类排出粪便可作为作物(如谷物)的肥料,谷物又可作为牲畜的饲料,这也是一种平衡。自然界中的动物还存在许多食物链,食物链中的某一环节被破坏了,就有可能使一些物种消亡。这些循环已经是人们所公认的了。那么,人类在大量使用自然矿石资源(如各种金属或非金属矿物),又大量产生各种废物(包括气、液、固体“废料”),如果我们不能逐步建立起一个循环系统,其结果只能如同自然界一些平衡被破坏一样,人类本身将遭受灭顶之灾。

所谓资源循环是指人类在利用自然资源(如矿

石)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,以最大限度地减少自然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。迟早,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。其实,关于物质根本不能消灭,也不能重新创造,宇宙中物质的量始终保持不变的思想,早在公元前5世纪就为希腊哲学家们提出,并为17,18世纪的许多唯物论的哲学家所采纳。俄国化学家罗蒙诺索夫1756年进行了一次著名的实验,将铅、铁、铜等金属放在密封容器中锻烧;发现锻烧前后重量没有变化。从而得出参与化学反应的物质总量在反应前后都是相同的质量守恒定律。这为哲学上物质不灭原理提供了坚实的自然科学基础^[5]。

从化学的观点来看,自然资源被利用之后的产物是一种物质,一种资源。资源循环学,就是研究如何利用这些产物建立循环系统的科学。

3 资源开发与环境、资源储量和社会资源存量的关系

全球环境和气候的变化在很大程度上是人类经济活动的产物,这种变化反过来会对全球的经济与发展产生强烈的影响。急剧的工业化,资源的过度开发(如矿业开采与冶炼)是产生这种变化的极其重要的因素。如果人类不能有节制地开发自然资源并建立起资源循环系统,人类就无法可持续发展下去,并将不可避免地走向末日。

中国自然环境先天脆弱,历史上长期开采,再加上现代规模巨大、作用强烈的人类活动,因此中国的生态环境质量本底不高,极易遭受破坏^[1]。因此,在中国实行有节制的自然资源开发并尽快建立资源循环系统就更加紧迫。

环境污染包括气、液、固三态。根据20世纪80年代的统计,全世界每年排出的二氧化硫达到 1.5×10^8 t。中国1997年二氧化硫的排出量为 1.408×10^7 t,1999年为 1.114×10^7 t,其中90%

来自煤的燃烧。有色金属冶炼经过艰苦的努力，1997 年硫的利用率达到 77.2%，每年仍有几十万吨硫排入大气。此外，矿石中的一些有害元素，如铅、汞、镉等也随气体排出。我国江河湖库水域普遍受到不同程度的污染。据“中国 2000 年水环境预测与对策研究”报道，2000 年，中国污水总量为 7.9×10^{10} t，工业废水为 6.121×10^{10} t。每年都有数以万吨计的酚、氰、砷、汞、铬、铅、镉和石油类有害物质进入江河湖海。我国的矿物资源主要靠自给，矿石品位低，采矿矿石量和剥离废石量大。据 1980 年不完全统计，仅煤炭、冶金、电力、化工行业一年产生 5.6×10^8 t 固体废物。截止 1988 年，全国积存的固体废物已达 66×10^8 t，占地面积 5.3×10^8 m²，其中农田 3.53×10^8 m²。国家环保局组织的“中国 2000 年固体废物环境影响预测及对策研究”课题指出，2000 年工业固体废物年产量达 9.8×10^8 t，其中危险性废物约 9.451×10^4 t，固体废物堆积量达 111.5×10^8 t，占地面积 8.6×10^8 m²，其中农田 6.67×10^7 m²。堆放废物不仅占有大量土地，通过风吹雨淋，会使周围土地毒化、酸化、碱化。污染面积可超过所占面积的数倍，更危险的是导致水体的污染^[6]。

面对如此严重的环境污染，如果仍然不加节制地开采自然资源，后果将是灾难性的。

大部分自然资源总是有限的。以有色金属为例，中国的稀土、钨、锡、钼、锑为优势资源，但由于多年开采，有些已经出现资源危机，如著名的云锡（锡矿）、锡矿山（锑矿），都在寻找新的接替矿山。而耗用量巨大的铝矿、铜矿，中国的自然条件不好，铝土矿以一水型铝土矿为主，占总储量的 97.9%，这种矿石加工难度大，耗能高^[7]；铜矿储量严重不足，贫矿多，混合矿多，外部条件差。因此，大量矿物的开发与自然资源的缺乏存在明显的矛盾。

有一些矿产资源在使用后是无法再生的，如石油，目前尚不可能利用它燃烧后的产物。但有相当大的一部分矿产资源应该进行循环使用。人类不应该也不可能只是不断地向地球索取资源，而将开发出来的资源在使用一次之后，将它们的产物堆遍地球，污染环境。例如，据测算，目前我国钢铁社会存量已超过 10×10^8 t，每年生成的钢铁再生资源约 5000×10^4 t 左右。随着经济发展和社会全面进步，产品更新换代的速度正在加快，设备的折旧速

度也在不断提高，每年钢铁再生资源的生成数量是不断增加的。在每年生成的大约 5000×10^4 t 废钢铁再生资源中，因氧化、锈蚀、与混凝土一起埋入地下或其它方面的原因，约有 35% 左右是无法回收利用的。可回收利用的钢铁再生资源每年约在 3250×10^4 t 左右^[8]。也有人认为，本世纪初我国钢铁的社会存量为 12×10^8 t，而美国是 40×10^8 t，前苏联 27×10^8 t，日本 14×10^8 t^[9]。据报道，2001 年中国钢产量 1.4×10^8 t，出口钢材、钢坯 720×10^4 t，进口钢材、钢坯 2500×10^4 t^[10]。

根据以上数据，我们来预测未来中国钢铁社会存量和可回收利用的钢铁资源，以及何时有可能建立起钢铁循环系统，以致基本上不再需要大规模开采铁矿。

基础数据：

2001 年钢铁产量 1.4×10^8 t；

2001 年社会钢铁存量 12×10^8 t；

钢铁制品折旧年限为 20 年；

废钢铁中可回收比率为 65%。

由于钢铁产量已位居世界第一，目前正在调整产品结构和限产，因此假定在今后相当长时间内钢铁产量不再增加，同时，每年产出的钢铁全部进入社会，进出口平衡。

按照以上数据，可计算出今后 20 年内社会钢铁存量和可回收利用的钢铁资源。

表 1 未来 20 年社会钢铁积蓄量
和可回收利用量 $\times 10^8$

Table 1 Total social accumulation and the recoverable amount of steel in the coming 20 years

时间/a	2001	2005	2010	2015	2020
社会钢铁积蓄量/t	12	14.968	17.917	20.198	21.963
可回收利用钢铁量/t	0.39	0.486	0.582	0.656	0.714
当年钢铁产量/t	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4

1) 多大的社会钢铁存量才能使可回收利用的钢铁资源与当年钢产量平衡（假定 1.4×10^8 t 产量不变）

$$A_n = 1.4 \times 10^8 t / (0.05 \times 0.65) \\ = 43.08 \times 10^8 t. \quad (1)$$

A_n ——第 n 年社会钢铁存量

式 (1) 表明，当社会钢铁存量达到 43×10^8 t 时，社会上可回收的钢铁存量可以与当年的产钢量相平衡。

2) 需要多长时间才能达到平衡 (单位为 10^8 t)

$$A_{n+1} = A_n - 0.05A_n + 1.4 = 0.95A_n + 1.4,$$

$$A_{n+1}/A_n = (0.95A_n + 1.4)/A_n$$

$$= 0.95 + 1.4/A_n. \quad (2)$$

A_{n+1} ——第 $n+1$ 年社会钢铁存量。

从表 1 可见, 从 2001 年到 2020 年, 20 年中社会钢铁存量增加了近 10×10^8 t, 平均每年增加 0.5×10^8 t。因此, 大约需要 60 年左右, 才能建立起我国的钢铁循环。这里还有若干个变数, 从 (2) 式可见, A_n 越大, A_{n+1}/A_n 越小, 意味着当 A_n 增大时, 社会钢铁积蓄量的增速趋缓。但以上计算未考虑钢铁进口量 (事实上现在每年进口几百万吨废钢) 以及随着社会进步, 可回收利用废钢比例应有所增加。因此, 建立平衡的钢铁循环系统应比 60 年短。许多矿物资源都与钢铁情况相似, 如铜, 不管情况有多大差别, 但逐渐达到平衡都是必然的。如果我们能够有意识地加快平衡的建立, 一个资源循环型的社会尽快到来, 有可能使人类两大问题, 即资源短缺和环境污染得以解决。

4 建立资源循环社会

4.1 资源循环型社会

图 1 是一个理想化的资源循环型社会。

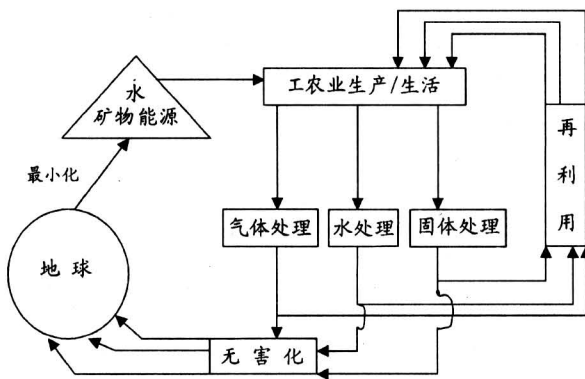


图 1 资源循环

Fig.1 Resources recycling

为了建立资源循环型社会, 有三点是非常重要的:

1) 人类必须充分认识在人类活动中开发利用资源所产生的产物不是废物, 它们是资源或潜在的资源。人类需要逐步开发利用这些资源, 以实现向地球索取资源的最小化。

2) 人类在生产和生活过程中, 3R 是非常重要

的, 即尽量减少使用自然资源 (Reduction), 尽量实现资源的再利用 (Reuse) 和尽量实现资源的循环利用 (Recycling)^[11]。

3) 实现资源循环不仅仅是图 1 所指的固、液、气处理、再利用和无害化等部位的任务, 更是工农业生产和生活活动部位的任务。例如, 器件制造商们应采用容易再生利用的材料而不是难以分离再生的复杂材料; 当需要采用高强度性能的金属材料时, 应尽量在晶粒细化方面做工作, 而不要在复杂成分的配方上下工夫, 这才符合生态环境材料的要求。只有全社会都将资源循环放在非常重要的位置, 资源循环型社会才可能建立。

4.2 建立资源循环型社会

一个向自然界索取资源最少, 环境污染最轻的可持续发展的资源循环型社会是我们为之奋斗的目标。但是, 实现这样的循环是一个系统工程, 它决不仅仅是科学家、工程师和学者力所能及的。以下几点是建立资源循环型社会的必要条件。

4.2.1 政府部门高度重视 这是实现资源循环型社会最为重要的条件。从计划经济到市场经济, 政府的功能有很大的转变。许多不该管的事, 如今政府不管了。但恰恰像资源、环境这样的关系全社会的大事, 政府应该管起来。任何一个企业或部门, 不可能建成资源循环型社会。政府要统筹安排, 制订规划、计划、制订法律, 增加投入, 责成专门机构负责该项工作。

4.2.2 制订并实施一系列加快建立循环型社会的法律 一些发达国家不仅在环境保护方面建立了许多严格的法律, 在与环境相关的资源循环方面, 也建立了许多法律。如日本在近年来, 先后制订并生效了诸如“废物管理和公共清洁法” (Waste Management and Public Cleaning Law 2002, 10); “容器和包装循环利用法” (Container and Packaging Recycling Law 2000, 4), 家用电器循环利用法 (Electric Household Appliance Recycling Law 2001, 4) 等一系列法律^[12]。正是这些法律的生效, 促使日本建成了一批资源循环利用的示范工厂。我国虽然也制订了一些法律, 但与一些先进国家相比, 还有差距。

4.2.3 增加研究与开发经费 政府有关部门应制定专项科研计划, 建立一支专门研究队伍, 甚至可考虑成立专门研究机构。一些人之所以常常将自然资源在使用之后的产物归为“废物”, 亦是因为目

前尚未找到合适的用途或难以经济地再利用。必须研究适合各种“废物”的工艺技术。例如，我们不能等到目前手机用的锂电池堆积如山时才去研究如何回收分离锂电池中的锂和钴（2002 年上半年，中国手机用户已超过 1.76 亿），科研必须先行。国际上通行的方法是政府对资源循环的研发予以有力支持，我国应该效仿一些先进国家的做法。

4.2.4 教育是建立资源循环型社会的基础 必须从小学生的教育开始，不断强化社会对资源循环的认识。只有全社会认识到资源循环是关乎每个人的事情，使社会成员有一种责任感，再加上法律的约束，才有可能建成资源循环型社会。例如，日本对垃圾的分类管理就很值得我们学习。

人类社会的发展，特别是近代社会的进步，都经历过从着力于提高产品产量的短缺经济到重视提高产品质量的过剩经济。在这个发展过程中，人们逐渐认识到开发自然资源和资源短缺、生态环境恶化的矛盾。只有建立一个人类与自然和谐共处的资源循环型社会，才有可能持续向前发展。对于一个有 5000 年历史，资源不甚丰富，近几十年过度开采和环境污染比较严重的中国来说，建立资源循环型社会尤为重要。

参考文献

[1] 中国科学院可持续发展研究组. 2000 中国可持续发展战略报告[R]. 北京: 科学出版社, 2000

- [2] 钱正英, 张光斗主编. 中国可持续发展水资源战略研究报告第一卷——中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001
- [3] 第五届全国矿产资源综合利用学术会议筹备汇编. 第五届全国矿产资源综合利用学术会议论文集[C]. 北京: 冶金出版社, 1996
- [4] 于光远. 经济大辞典工业经济卷[M]. 上海: 上海辞书出版社, 1983
- [5] 张文彦, 续军, 张续光主编. 自然科学大事典[M]. 北京: 科学出版社, 1992
- [6] 宋健主编. 中国科学技术前沿第 4 卷[A]. 邱定蕃. 重金属与环保[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001
- [7] 周晋华主编. 有色金属进展第二卷[M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1995
- [8] 金磊夫. 中国钢铁再生资源市场分析[J]. 中国资源综合利用, 2000, (2): 9
- [9] 王镇武. “十五”期间废钢铁工作发展思路[J]. 中国资源综合利用, 2002, (2): 24
- [10] 林加冲, 雪康. 2001 年废钢工作的回顾及 2002 年前景展望[J]. 中国资源综合利用, 2002, (2): 26
- [11] Jong kee Oh. Proposal for the promotion of materials recycling proceedings of the 6th international symposium on East Asian resource recycling Technology[C]. Oct 23—25, 2001, Gyeongju, Korea
- [12] Kohmei Halada. How does Japan go to Recycling-based dematerialized society[A]. First international workshop on recycling program & proceedings[C]. March, 4—6, 2002, Tsukuba, Japan

Resources Recycling

Qiu Dingfan

(Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 100044, China)

[Abstract] Resources are the basis for the sustainable development of a country. From the viewpoint of chemistry, the product, resulted from the usage of a natural resource is still a substance, a kind of resource. Mankind should not exploit natural resources (minerals) unlimitedly, but make full use of them repeatedly and establish resources recycling gradually. Resources recycling is a kind of science that studies how to build the recycling system for making full use of the products. Resources recycling is a law, and also an only road for human being living in harmony with nature and for social sustainable development.. Natural resources exploitation is closely related to environment pollution. Socializing resources recycling as early as possible may completely solve the problems of resource shortage and environment pollution. Building a society of resources recycling is a system engineering. To achieve this goal, the Government's determination, the related laws and regulations, keeping science, technology and education going first, as well as the joint effects from the whole society are necessary.

[Key words] resources; resources recycling; resources exploitation; society of resources recycling