

· 专题综述 ·

# 我国金属矿产资源开发循环经济的发展方向\*

王运敏<sup>1,2</sup>

(1. 中钢集团马鞍山矿山研究院; 2. 《金属矿山》杂志社)

**摘 要** 结合我国金属矿产资源开发与供给的现状,分析了我国金属矿产资源开发发展循环经济的意义,以循环经济发展的“3R”为原则,提出开展矿床数字化建设和开采设计管理,开展金属矿产资源高效采矿、选矿技术研究,开展采矿技术攻关解决难采矿石的回采、降低损失率,开展选矿技术攻关提高选矿回收率,开展尾矿综合利用和生态建设等金属矿山循环经济发展的技术方向;从政策、技术与资金投入、宣传等方面提出了发展金属矿产资源循环经济的政策措施。

**关键词** 金属矿山 循环经济 资源利用率 环境保护 综合利用

## Development Orientation of China's Recycle Economy in Exploitation of Metal Mineral Resources

Wang Yunmin<sup>1,2</sup>

(1. Maanshan Institute of Mining Research, Sino Steel Group; 2. Magazine Agency of Metal Mine)

**Abstract** In light of the present status of China's exploitation and supply of metal mineral resources, the significance of the development of recycle economy in the exploitation of China's metal mineral resources is analyzed. With the “3R” (reduce, reuse, recycle) as the principle in the recycle economy development, the technological orientation of the recycle economy development of metal mines is pointed out, which includes carrying out deposit digitalization construction and mining design management, carrying out the research on high-efficiency mining and mineral processing technologies for metal mineral resources, carrying out the mining technical challenge tackling to extract the hard-to-mine ores and reduce the loss rate, carrying out the processing technical challenge tackling to raise the metal recovery, and carrying out the comprehensive utilization of tailings and ecological construction. Suggestions are made on the development of the recycle economy of metal mineral resources from the aspects of the policy, technology and fund input and propagation.

**Keywords** Metal mine, Recycle economy, Resource utilization rate, Environment protection, Comprehensive utilization

### 1 金属矿产资源开发发展循环经济的重要意义

发展循环经济已成为我国国民经济发展的一项基本国策<sup>[1]</sup>。作为国民经济发展基础原料的金属矿产资源不仅严重短缺,而且矿山开发引起的环境污染、固体废弃物等问题突出。作为传统的工业,金属矿产资源开发发展循环经济具有重要的战略意义。

第一、发展循环经济是缓解资源约束矛盾的根本出路。近年来,随着经济、社会的不断发展,对矿产资源和矿产品的需求量越来越大,我国资源供给形势已非常严峻。目前,我国几种重要的战略性金属矿产资源保障程度已经很低,对国外的依赖程度越来越高:按已探明可开采储量计算,我国铁矿静态可开采储量 125 亿 t,静态保有年限 < 30 年;我国铜矿铜金属静态可开采储量 2 290 万 t,静态保有年限

< 11 年。按目前生产供应,2004 年我国国产铁矿石 3.1 亿 t,同比增长 22.5%,进口铁矿石量 2.08 亿 t,同比增长 40.5%,自给率 40% 左右;我国锰矿石只能满足国内需求的 60% 左右,铜精矿只能满足国内需求的 24% 左右,铅锌矿已由出口国变为进口国。据预测,未来 20 ~ 30 年内,我国国民经济将继续保持较高的增长速度,对金属矿产品的需求仍将保持增长。预计到 2010 年,国内需要钢 3.3 亿 t、铜 450 万 t、铝 880 万 t、锌 340 万 t,届时我国的金属矿产将面临更为严峻的挑战。

金属矿产资源对我国国民经济发展的“瓶颈”

\* 国家固体废物处理与处置中心资助项目。

王运敏(1955 -),男,中钢集团马鞍山矿山研究院院长,《金属矿山》杂志社社长,教授级高级工程师,243004 安徽省马鞍山市湖北路 9 号。



作用已初步显现,2005 年初,CVRD、BHP、必和必拓公司将新一年度的铁矿石价格提价 71.5%,对我国钢铁工业产生很大影响。近年来,国际铜、钼、锰、铝等金属价格也出现大幅攀升,全面提升了我国经济发展的成本。这些都给我国国民经济的发展带来了严重威胁。为了减轻经济增长对金属矿产资源供给的压力,必须大力发展循环经济,实现金属矿产资源的高效和循环利用。

第二、发展循环经济是从根本上减轻环境污染的有效途径。矿山开采所引发的环境问题主要表现在侵占土地、地表形态破坏、植被破坏、原始生态不复存在、水土流失、粉尘污染、采场滑坡、排土场泥石流、尾矿库溃坝、区域性生态遭到破坏,这些问题仍呈恶化趋势,重开发、轻保护;先开采、后恢复,甚至只开采、不恢复。全国国有、集体、乡镇各类矿山已累计达 24 万多座,破坏面积之大,污染之严重,长期缺乏有力措施,“污染转移”、“垮域报复”,甚至给人们带来难以补偿的灾难。如果矿产资源得到了充分利用,原来的固体废物大部分变成了资源,暂时未被利用的都得到合理处置,矿山开发所产生的环境污染就会减少,过去所出现的灾难就会避免。因此,大力发展循环经济,推行清洁生产,可将经济社会活动对自然资源的需求和生态环境的影响降低到最小程度,从根本上解决经济发展与环境保护之间的矛盾。

第三、发展循环经济是提高经济效益的重要措施。目前,我国矿产资源总回收率约为 30%,比国外先进水平低 20 个百分点;矿山采矿损失率、矿石贫化率和选冶回收率,尽管近几年来有很大的提高,但与国外先进水平相比仍有一定差距。共伴生矿产资源综合利用率为 35% 左右;一些超大型复杂多金属矿床的尾矿利用率仅为 10%;工业固体废弃物综合利用率不到 60%。如梅山铁矿选矿厂每年排出铁品位 20% 以上的细粒尾矿达 100 万 t 以上,折合金属量 20 万 t,目前弃置尾矿库未加以合理利用。该尾矿的特点是铁矿物组成复杂,含对炼钢有害的杂质磷高,但含有较多冶炼渣用的钙、镁矿物。如果这些矿产资源不能得到合理利用,不仅降低资源利用率,而且影响铁精矿质量,降低企业效益,且严重影响生态环境。如果这些尾矿能够得到利用,不仅节约了资源,减少了污染,而且可以大幅度提高企业的经济效益。因为这些尾矿在再加工利用过程中无需再花费费用巨大的开采、破碎、运输成本,可以大幅度提高矿山企业的经济效益。目前,该矿已完

成了从尾矿中回收铁及回收后的尾矿制砖的研究,经济效益巨大,已着手建厂。因此,大力发展循环经济,提高资源的利用效率,已经成为矿山企业调整经济结构和转变经济增长方式的一项重要而紧迫的任务。

第四、发展循环经济是金属矿山实现可持续发展要求。目前,中国 20 世纪五、六十年代建设的国有矿山,有 2/3 正进入“老年期”——440 座矿山即将闭坑,390 座矿城中的 50 座矿城资源衰竭、340 座矿城也终将面对矿山闭坑的一天。在传统的经济发展模式下,资源的枯竭带来了诸如“四矿问题”、“四万矿工下农村”的“阜新困局”等社会问题,这归根到底还是企业可持续发展能力低下的结果。实际上,矿山弃置的固体废弃物其实都是极宝贵的矿产资源,如铁矿山堆存的尾矿,除其所含的部分铁之外,还有其它金属成分,即使那些非金属物质,也是建材、化工等行业的好原料。因此,矿山企业充分利用矿产资源,大力发展循环经济,就可以走出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的新型工业化道路。

## 2 金属矿产资源循环经济的原则

循环经济要求以“减量化、再使用、再循环”(简称 3R)为社会经济活动的行为准则,集中体现为开发、节约、提效相统一的原则。

(1)减量化原则。针对输入端,在金属矿山资源开采、加工、利用的过程中,应从 3 个方面来实现。一是金属矿产资源开发采用高效机械化、自动化、开采优化等措施实现高效开发。二是十分注意提高资源的回收率,通过研究复杂难采、难选矿石采、选技术,回收难以回收资源,使“死矿”、“呆矿”资源成为可利用资源;通过降低采矿损失率、矿石贫化率和提高选冶回收率来提高资源总回收率。三是减少各种污染物,如尾矿、废石、矿山废水等的排放量,以提高金属矿产开发的综合效益。

(2)再使用原则。属于过程性原则,要求企业对金属矿产资源进行深加工,对尾矿、废石、矿山废水等进行循环高效利用,尽可能少留或不留下任何废弃物。

(3)再循环原则。是输出端原则,矿山企业生产出来的金属矿产资源输送给金属产品加工企业,供全社会使用,并实现循环(本文不包括这一部分资源的走向)。金属矿产资源生产中形成的尾矿、废石及被破坏土地等重新变成可以利用的资源,而



不是无用的垃圾。

从以上几个方面可以看出,通过再使用和再循环原则的实施,反过来强化了减量化原则的实施,形成循环发展的全过程。

### 3 金属矿产资源开发发展循环经济的主要技术方向

循环经济的实质是一种生态经济,倡导的是一种与环境和谐发展的经济模式。循环经济从金属矿产资源开发行业来讲,是以最有效利用资源和保护环境为基础的经济形式。因此,金属矿山企业必须改变过去重开采轻加工、重生产轻利用、重经营轻环保的做法。主要技术方向概括如下。

(1)开展数字矿山建设,提升金属矿产资源的管理水平。如何合理开发与利用有限的矿产资源来满足人类社会可持续发展需求,已成为当今的共同主题。在以知识经济为特征的信息社会中,信息作为一种重要的经济资源,成为规范人类开发、加工和利用各类自然资源的方式和方法。数字矿山的建设,可以对开采中的矿产资源进行适时控制,保证矿产资源的回收;可以改善现有生产控制水平,实现生产调度、选矿过程等的自动化,节约开采、运输、选矿能耗;可以提高矿山开发过程中各个环节的效率,节约人力资源,从而达到节约生产成本,减少消耗(减量化)的目的。

(2)开展金属矿产资源高效采矿、选矿技术研究,降低设备、能源等的消耗。矿产资源开发使用大量重型机械设备,消耗大量能源,因此要重点研究高效节能的采矿、选矿新技术和新设备,大规模降低采矿、选矿成本;内容包括陡坡铁路技术与设备的研究与推广;汽车-胶带(大倾角)联合运输工艺与设备的研究与推广;高效爆破炸药和爆破技术研究及推广;连续化采矿技术的研究与推广;高压辊磨设备的研究;节能型球磨机的研究;高效选矿工艺与设备的研究;高效脱水设备的研究;将控制技术用于现有采矿、选矿设备,实现设备的自动控制等等。

(3)开展复杂难采、难选矿床开发的关键技术,提高可利用资源数量。我国主要金属矿产资源如铁、铜等不仅储量少,而且难采难选矿比例高,开展复杂难采、难选矿床开发的关键技术研究,可有效提高资源的可开发数量,提高稀缺矿产资源的保障程度。

复杂难采矿床包括“三下”(水下、建筑物下、道路下)矿体,松软破碎及其它地质工程环境复杂矿体、残留矿体(民采、境界外矿体)、缓倾斜无底柱采

矿法坚硬顶板处理、露天矿山深部地采等。复杂难采矿体开采存在的主要问题是:一是开采方法问题;二是地压灾害问题;三是采场参数选择困难、开采指标不理想,造成大量资源浪费,该类矿体一旦进行了开采并造成资源丢弃后,其资源的损失将是永久性的。复杂难采矿床开采要解决以下技术难题:①松软破碎矿体开采技术;②残留矿体开采综合技术;③矿体坚硬顶板处理技术;④境界外矿产资源的回收技术;⑤露天开采转地下开采平稳过渡及联合开采技术。

复杂难选矿石选矿技术难题包括难选未利用资源如(褐铁矿、菱铁矿、鲕状赤铁矿等)的选矿技术、低品位(铁、铜、铅、锌等的表外矿)的选矿技术和多金属共生矿的综合回收技术,重点在于开展:①复杂难选矿石系统工艺矿物学研究;②复杂难选矿石选冶新工艺流程开发研究;③新型高效反浮选药剂研制;④能有效回收微细粒矿物的磁选设备研制;⑤高压辊压工艺技术;⑥高压辊压后的矿石预富集工艺与设备优化;⑦预富集粗精矿的磨矿、选别工艺;⑧矿石合理入选品位研究及技术经济评价;⑨尾矿合理利用及处置技术等研究等。

(4)开展尾矿与废石合理利用与处置技术研究,实现废弃资源的循环利用。我国金属矿山尾矿与废石综合利用率很低。国内外金属矿山尾矿与废石本着“尾矿再选提取有用组分,去除潜在污染,尾矿与废石回填或生产建筑材料,建设人造景观和复垦”思路,要着重解决下列关键技术:①金属矿山尾矿再选,重点是要解决氧化矿尾矿再选;②大用量高附加值尾矿与废石建材产品的技术开发;③尾矿整体利用技术,主要是全尾充填技术。

(5)开展矿山生态保护和重建技术研究,实现矿产资源开发与环境的协调发展。我国矿山生态保护和重建技术力量薄弱,手段相对落后,缺少大跨度学科交叉的系统综合研究,缺少具有自主知识产权的技术集成,科技支撑薄弱,因此需加强下列关键技术研究。①冶金矿山生态重建规范与排土场复垦均衡技术体系;②微生物复垦技术;③尾矿库干坡段扬尘抑制技术;④金属矿山排土场酸性废水处理技术与三水平衡利用技术。

### 4 金属矿产资源开发发展循环经济的政策措施

#### 4.1 完善有关的法律、法规、标准

为保证金属矿产资源循环经济的发展,当前要

(下转第 22 页)



下盘高 106 m, 上盘对下盘有一推力作用, 对限制下盘移动有一定作用。

随着开挖深度的增加错动角逐渐提高, 这与理论结果是一致的。开挖至 -120 m 水平时, 地表不回填条件下, 上盘错动角介于  $56.9^{\circ} \sim 65.1^{\circ}$  之间, 平均值为  $60.9^{\circ}$ , 下盘错动角介于  $61.7^{\circ} \sim 65.3^{\circ}$  之间, 平均值为  $63.1^{\circ}$ ; 地表回填条件下, 上盘错动角介于  $57.2^{\circ} \sim 65.7^{\circ}$  之间, 平均值为  $61.2^{\circ}$ , 下盘错动角介于  $61.7^{\circ} \sim 65.6^{\circ}$  之间, 平均值为  $64.1^{\circ}$ 。地表回填可使下盘错动角平均提高  $1^{\circ}$ , 上盘错动角平均提高  $0.3^{\circ}$ 。

#### 4 结 论

本文首先采用极限平衡与数值计算方法对边坡的稳定性进行评价, 得出转入地下开采前的边坡状态, 再模拟开挖至 -120 m 水平, 对边坡面各节点位移水平和竖直分量进行统计, 并绘制地表水平变形和倾斜变形图, 最后利用水平变形图来圈定错动范围。

通过数值计算结果分析提出以下建议, 随着开

挖深度的增加边坡有失稳的趋势, 地压显现也逐步加剧, 在开采范围内水平应力大于垂直应力, 同时巷道围岩强度较高, 容易造成能量积累, 到达一定程度有可能诱发岩爆。因此, 应加强坡面以及地下巷道监测力度, 及时反馈到生产中去, 避免灾害的发生。

#### 参 考 文 献

- 1 章立才. 露天转地下开采的技术措施. 金属矿山, 1994(9): 16 ~ 18
- 2 刘景秀. 深凹露天转地下开采矿山防排水措施的探讨. 非金属矿, 2001(4): 40 ~ 41
- 3 张永彬, 赵兴东, 唐春安, 等. 用数值模拟方法确定露天转地下境界矿柱厚度. 矿业工程, 2003(4): 25 ~ 28
- 4 朱赞成, 宋卫东, 匡忠祥. 程潮铁矿采准巷道围岩稳定性数值模拟研究. 金属矿山, 2003(10): 21 ~ 23
- 5 宋卫东, 赵增山, 王 浩. 断层破碎带与采准巷道围岩作用机理模拟研究. 金属矿山, 2004(2): 11 ~ 13
- 6 采矿设计手册编委会. 采矿设计手册. 北京: 中国建筑工业出版社. 1987

(收稿日期 2005-07-08)

(上接第 3 页)

加快制定金属矿产资源开发循环经济评价指标体系, 制定复杂难采、难选矿开发的评价标准。同时, 制定矿产资源开发固体废物、水污染治理、大气污染治理和土地生态恢复的监督管理条例, 明确各种处理应达到的标准要求, 处理的技术规范、处理企业的责任、权利以及责权利的监督保障机制、监督部门的权利责任、失职行为的处罚等, 使矿产资源开发企业和监管部门的所有行为都置于法律的规范之下。

#### 4.2 强化政策导向, 坚持鼓励与限制相结合, 形成循环经济发展的激励机制

要完善国家对矿产资源综合利用的优惠政策, 充分发挥优惠政策的鼓励、引导和扶持作用。研究制定适应新形势的政策体系, 包括财政、税收、金融、投资、技术等促进循环经济发展的经济技术政策。

#### 4.3 加大科技投入, 为循环经济发展提供有力的技术支撑

金属矿产资源开发循环经济必须依靠科学技术进步, 要加大科技投入, 积极研究新技术、应用新工艺、开发新设备, 为矿山企业调整经济结构、改变经济增长方式、实现循环经济发展提供技术支撑。

国家要加快金属矿产资源开发循环经济工程中

心的建立, 组织重大示范项目<sup>[2]</sup>, 以解决循环经济发展中的共性和关键技术为重点; 选择具有标志性目标和有广泛推广前景的先进适用技术, 组织实施一批重大示范工程, 加快先进适用技术的推广。

在国家各类基础研究基金、国家科技攻关等资助项目中加大对金属矿产资源开发研究经费的投入。

#### 4.4 加强循环经济发展的宣传

循环经济发展实际上所涉及的是全体公民的利益, 因此公众应当是进行资源综合利用、实现循环经济的中坚力量。要普及资源综合利用的科学与法律知识, 增强公众合理利用资源的意识和责任感, 动员和正确引导公众参与资源综合利用; 要提高全社会对资源合理开发和利用重要性的认识, 使全民都来理解、支持和自觉参与资源综合利用事业, 从而使循环经济步入良性发展的轨道。

#### 参 考 文 献

- 1 马 凯. 贯彻落实科学发展观 大力推进循环经济发展. 人民日报, 2004, 11, 11(6)
- 2 黄志伟, 酆天权. 矿山生态工业园原理及其应用. 金属矿山, 2004(2): 59 ~ 61

(收稿日期 2005-07-26)