# 矿业循环经济评价指标体系研究*

沙景华，欧玲
中国地质大学人文经管学院，北京 （100083）
E-mail：shajinghua@163.com

**摘 要：**本文以循环经济理论及人口、资源、环境可持续发展的科学发展观为依据，按照系统科学性、动态性、可操作性为原则建立矿业循环经济评价指标体系，为发展矿业循环经济构建了评估框架。此评价指标体系可为事前的审批评估，实施过程中的监测以及结果的评价。依该评价体系还可进行矿产资源循环经济发展的动态评估，为相关部门提供矿业开发利用情况的决策依据。

**关键词：**矿产资源；循环经济；矿业循环经济；指标体系

## 1. 引言

矿产资源是工业发展的物质基础，重化工业时代经济发展的原材料保障。我国工业化、城市化进程不断加快，矿产品及相关能源原材料需求日趋旺盛，供需矛盾日益突出，目前我国矿产资源的综合利用水平远远低于其它矿业大国的水平且环境污染问题严重。为实现我国矿产资源的可持续发展必须实施矿业循环经济，建立矿业循环经济评价指标体系。

## 2. 循环经济与矿业循环经济的内涵

### 2.1 循环经济的定义及特点

循环经济是物质闭环流动性经济、资源循环经济的简称，是以资源的高效利用和循环利用为目的，以“减量化、再利用、资源化”为原则（3R 原则），以物质闭路循环和能量梯次使用为特征，按照自然生态系统物质循环和能量流动方式运行的经济活动。它遵循生态学、经济学、系统论等原理，通过环境友好的方式利用自然资源和环境容量，提高资源利用效率，协调人与自然的关系，实现经济、社会、环境的协调统一[1]。循环经济有以下特点：①运动方式为物质循环的网状经济；②资源循环利用，科学经营管理，低开采、高利用；③废物低排放，对环境友好；④追求经济效益、社会效益和环境利益的协调统一；⑤经济增长方式为内涵型发展；⑥环境治理方式以预防为主，全过程控制；⑦评价指标为绿色核算体系[2]。

### 2.2 矿业循环经济的内涵

矿业循环经济是指地球上的矿产及矿产品遵循矿产物质的自身特征和自然生态规律，按其勘查、采选、冶生产、深加上、消费等过程构成闭环物质流动，与之依存的能量流、信息流内在叠加，达到与全球环境、社会进步等和谐发展的一个经济系统[3]。其核心是矿产资源的综合利用。与矿产资源的传统利用模式相比，其循环经济利用模式关键就是通过资源的循环利用，而使经济发展链条由线型转变成环型（见图 1）[4]。

* 本课题得到中国地质大学（北京）资源环境管理实验室开放基金项目（REM06011）的资助。

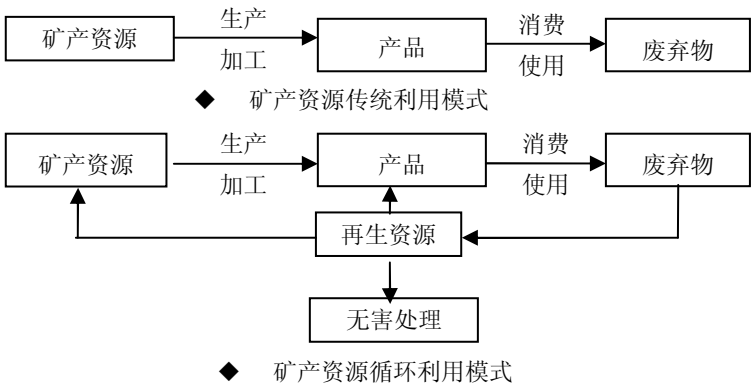



图 1 矿产资源利用模式

## 3. 实施矿业循环经济的必要性

### 3.1 我国人均资源占有量相对偏少，供需矛盾突出必然要求实施矿业循环经济

我国资源相对缺乏，常规资源占有量为世界总量的 10.7%，人均能源资源占有量不到世界平均水平的一半，仅为发达国家的 1/5—1/10；另外，我国重要资源对外依存度较高，资源短缺、消耗量过大导致要从国外进口大量的石油、铁矿石、铝等。如 2004 年我国石油净进口量 1.44 亿吨，占全国消耗量的 45%，已成为仅次于美国和日本第三大石油进口国。这些特点决定了必须走循环经济之路，把循环经济的理念贯彻于整个矿业经济活动各流程和经济社会各领域中。

### 3.2 我国矿产资源伴生和供生矿多，综合利用率低

我国基本上每个矿床均伴生或供生有多种有用成分，“采主弃辅、采富弃贫”的采矿法造成了大量共生矿、伴生矿的损失和浪费。我国矿产资源的回采率、利用率平均在 30%，与世界平均 50%利用率相比存在较大差距，而单位产值能耗却是发达国家的 3—4 倍。

### 3.3 矿业开发造成的环境污染严重

由矿业开发造成的环境污染问题较为严重。据统计，我国每单位产生的 $NO_X$ 是日本的 27.7 倍、德国的 16.6 倍、美国的 6.1 倍、印度的 2.8 倍；所产生的 $SO_2$ 是日本的 68.7 倍、德国的 26.4 倍、美国的 60 倍；化石燃料直接燃烧产生的 $CO_2$、$SO_2$ 等有害物质的人均排放量也高于世界平均水平。其次，由于矿业布局不合理，缺乏长远发展规划和管理方法，随意开采，造成固体废物堆放多，植被破坏，水土严重流失、地表大面积沉降，使矿区生态环境遭到近于毁灭性的破坏，便矿产资源的后续开发进一步恶化。

## 4. 矿业循环经济评价指标体系的构建

### 4.1 评价指标体系设置遵循的依据与原则

矿业循环经济评价指标体系设置的依据是：①矿产资源的自身特征和自然生态规律；②循环经济理论及 3R 原则即减量化、再利用、资源化；③科学发展观即人口、资源、环境的协调和可持续发展。

矿业循环经济评价指标体系设置的原则主要有系统科学性、动态性和可操作性[5]。

①系统科学性：矿业循环经济评价是一个综合的评价体系,它包括生态协调性、环境稳

定性、资源利用永续性、经济社会发展的平衡性等。并使评价目标和评价指标有机联系起来，形成一个层次分明的整体。并能描述系统目标的主体特征，达到内部逻辑清晰、合理，还要考虑数值的易取性，准确性、可比性和计算方法的科学性。

②动态性：矿业循环经济的实施，既是一个目标，又是一个过程。因此，评价指标体系应充分反映矿产资源系统动态变化的特点，体现系统的发展趋势。一方面反映出矿产资源系统发展状态的空间分布，另一方面在时间上也能反映矿产资源循环经济发展的强弱。使其具有监测、预警和评估的功能，即发展前的审批评估，实施过程中的监测以及结果的效益评价。

③可操作性：矿业循环经济发展的评价指标体系设置，是为了建立一个衡量矿产资源充分循环利用和可持续发展的标准尺度。利用统计部门现有的公开资料和有代表性的综合指标和主要指标，概括性强，所代表的信息量大，容易获取。使既有定性的指标又有定量的指标。

## 4.2 矿业循环经济评价指标体系的建立

本文拟采用层次分析法，将矿业循环经济发展的指标体系分为总体层、系统层、基础指标层和评价指标层四个等级。

（1）总体目标层：表达矿业循环经济总体能力的发展，以及矿产资源的循环经济发展战略总体态势和总体效果。

（2）系统层：矿业循环经济发展总体目标分解为 A 经济社会效益指标体系、B 矿产资源开发利用效益指标体系、C 矿产资源综合节约循环利用程度指标体系、D 生态环境效益指标体系 4 个子目标状态要素，根据循环经济发展的理论体系，按照矿产资源及开发利用的逻辑关系分列矿产资源对经济社会发展的影响效益、矿产资源开发利用能力效益、矿产资源综合节约循环利用能力程度、生态环境效益等四个方面问题。

（3）基础指标层：以系统层为中心，选取了 12 个代表指标，从本质上反映行为、关系、变化的原因和动力等。12 个基础问题指标层分别为：$A_1$ 国民经济与矿业发展指标、$A_2$ 矿业投入与产出效益指标、$A_3$ 矿业职业安全评价指标；$B_1$ 资源禀赋支撑能力、$B_2$ 矿业科技支撑能力、$B_3$ 矿产生产与消费水平；$C_1$ 矿产资源节约利用指标、$C_2$ 矿产资源综合利用指标、$C_3$ 矿产资源循环利用指标；$D_1$ 环境污染情况指标、$D_2$ 环境治理能力指标。

(4)评价指标层：采用可统计的、可比的、可获得的指标和指标群，对基础指标层的数量；强度；速率表现给予直接的度量。本文选取了 42 个评价指标，全面系统地对 12 个基础问题进行定量描述，构成了矿业循环经济评价指标体系的基层要素（表 1）。

表 1　矿业循环经济评价指标体系框架[2][5][7]

| 总体层 | 系统层 | 基础指标层 | 评价指标层 |
|---|---|---|---|
| 矿业循环经济指标体系 | A 经济社会效益指标体系 | $A_1$ 国民经济与矿业发展指标 | $A_{11}$ GDP 增长率（%） |
| | | | $A_{12}$ 人均 GDP（万元/人） |
| | | | $A_{13}$ 矿业产值增加值率（%） |
| | | | $A_{14}$ 矿业全员劳动生产率（%） |
| | | $A_2$ 矿业投入与产出效益指标 | $A_{21}$ 矿业投资占工业投资比重（%） |
| | | | $A_{22}$ 矿业产值占工业产值比重（%） |
| | | | $A_{23}$ 矿业税收占工业税收比重（%） |
| | | | $A_{24}$ 矿业利润占工业利润比重（%） |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | $A_3$ 矿工职业安全评价指标 | $A_{31}$ 矿难死亡人数占从业人数的比例<br>$A_{32}$ 矿业行业劳动就业率（%）<br>$A_{33}$ 矿业行业职工业人均工资水平 |
| | B 矿产资源开发利用效益指标体系 | $B_1$ 资源禀赋支撑能力 | $B_{11}$ 资源数量（储量占世界总储量的比重）（%）<br>$B_{12}$ 资源质量（品位）（%）<br>$B_{13}$ 储采比（静态保证年限）（年）<br>$B_{14}$ 资源储量探明程度（已查明资源/资源总量）（%）<br>$B_{15}$ 储量替代率（当年新增/当年消耗）（%） |
| | | $B_2$ 矿业科技支撑能力 | $B_{21}$ 矿业科技投入占 GDP 的比重（%）<br>$B_{22}$ 高新技术占环境友好型技术的比例（%）<br>$B_{23}$ 规模化企业通过 ISO14000 认证比率（%）<br>$B_{24}$ 通过清洁生产审计的企业数占企业总数的比例（%） |
| | | $B_3$ 矿产勘查投入水平 | $B_{31}$ 勘查投资年增长率（%）<br>$B_{32}$ 机械岩心钻探工作量<br>$B_{33}$ 坑采工作量<br>$B_{34}$ 年末职工人数 |
| | | $B_4$ 矿产生产与消费水平 | $B_{41}$ 国内矿产品产量占世界总产量的比重（%）<br>$B_{42}$ 矿产品生产增长速度<br>$B_{43}$ 矿产品消费弹性系数<br>$B_{44}$ 矿产品消费增长速度 |
| | C 矿产资源综合节约循环利用程度指标体系 | $C_1$ 节约利用指标 | $C_{11}$ 采矿贫化率<br>$C_{12}$ 开采回采率<br>$C_{13}$ 选矿回收率<br>$C_{14}$ 冶炼回收率<br>$C_{15}$ 尾矿利用率<br>$C_{16}$ 矿产资源耗竭率 |
| | | $C_2$ 综合利用指标 | $C_{21}$ 共伴生矿综合利用率<br>$C_{22}$ 共伴生有益组分综合利用技术 |
| | | $C_3$ 循环利用指标 | $C_{31}$ 工业用水循环利用率（%）<br>$C_{32}$ 工业废气综合利用率（%）<br>$C_{33}$ 工业固体废物处置利用率（%）<br>$C_{34}$ 再生利用率（再生产量占产量的比重） |
| | D 生态环境效益指标体系 | $D_1$ 环境污染情况指标 | $D_{11}$ 矿区 $SO_2$ 及烟尘排放量<br>$D_{12}$ 矿区污水排放量<br>$D_{13}$ 矿区固体废物排放量<br>$D_{14}$ 塌陷土地面积<br>$D_{15}$ 空气污染综合指数 |
| | | $D_2$ 环境治理能力指标 | $D_{21}$ 矿区塌陷区土地复垦率<br>$D_{22}$ 环保投资占矿业投资比率<br>$D_{23}$ 矿山“三废”处理率<br>$D_{24}$ 主要污染物排放总量消减率<br>$D_{25}$ 矿山生态环境修复率<br>$D_{26}$ 矿区人均公共绿地面积（平方米/人） |

**注:参考资料:** ①沙景华. 首都经济圈循环经济与可持续发展[M] 北京:地质出版社 2007

②吴初国. 国土资源可持续发展指标体系探索与实践[M] 北京.地质出版社 2006

③中科院可持续发展战略研究组. 2006 中国可持续发展战略报告[M]. 科学出版社. 2006

## 4.3 主要评价指标的诠释

### 4.3.1 经济社会效益指标体系

在经济领域，影响经济发展和资源利用的矛盾主要是资源有限性和经济发展对资源需求的快速增长；在社会领域，主要是资源相对短缺和社会人口过多之间的矛盾。以矿产资源对经济社会发展的保障能力来评价它的效益和作用，其指标用国民经济与矿业发展指标、矿业投入产出效益指标、矿工职业安全评价指标来体现，,相关数据可从统计年鉴中查得。

### 4.3.2 矿产资源开发利用效益指标体系

矿产资源开发利用效益主要从资源禀赋支撑能力、矿业科技支撑能力、矿产勘查投入水平、矿产生产与消费水平四个方面来体现。其主要的指标定义及计算如下：

①资源数量：指储量占世界总量的比重，即某种矿产资源储量与世界该矿产资源总储量之比。该指标反映矿产资源占有状况。

②资源质量：综合了矿石品位、矿石类型和矿石的选冶性能对竞争力的影响。可用某种矿产矿石品位与世界该种矿产资源矿石品位之比。以此反映矿产资源质量的优劣，在其他条件相同的情况下，品位越高，资源的质量越好。

③储量静态保证年限：指某种矿产当年产量与当年储量之比。反映目前资源存量按目前的开采速度可开采的年限，用此指标可以反应矿产资源对可持续利用的保障程度。

④储量探明程度：指探明程度高的储量占总的已知资源量的比例，具体用某种矿产资源基础储量与查明资源储量之比，表明已知资源的可靠程度。

⑤储量替代率：指国内年新增探明储量与当年消耗可采储量的比值。该指标表明储量增长与储量消耗之间的比例关系，反映国内勘查工作满足储量消耗的能力。

### 4.3.3 矿产资源综合节约循环利用程度指标体系

矿产资源综合节约循环利用程度的评价，是从循环经济角度对矿产资源利用方式的合理性进行综合评价。在现代经济条件下，资源合理利用的两大主体方向为持续利用和多层次综合利用。对矿产资源而言，这包括：综合回收利用、深加工利用、节约利用、再生循环利用等形式。其主要指标的计算公式如下：

①矿产资源开采回采率=矿井年开采量/矿井年消耗储量*100%

②矿产资源选矿回收率=选矿后精矿中所含被回收有用成分质量/入选矿石中有用成分质量

③矿产资源开发利用率=年矿产品总产量/年矿产储量总消耗量

④采矿贫化率=（原矿地质品位—采出矿石品位）/ 原矿地质品位（%）

⑤选矿回收率：ε=r*B/a*100%，式中 ε 为产品中某一成分的回收率，a 为原矿中此种成分的品位，B 为精矿中此种成分的品位，r 为精矿产率。精矿产率=精矿重量/原矿重量*100%

### 4.3.4 生态环境效益指标体体系

对矿业生态环境效益的评价，主要是对矿产资源开发过程造成的环境污染和破坏及其治理工作的评价。矿产开发造成的环境污染和破坏以矿山的“三废”（废气、废水、废物污染问题最为突出。其主要指标的计算公式如下：

①矿山废水处理率=符合国家排放标准的已处理废水/应处理废水的总量*100%

②矿山废气处理率=符合国家排放标准的已处理废气/应处理废气的总量*100%

③矿山废物处理率=(经加工重复利用废弃物量学+经无害化化处理废弃物)/应处理废弃物总

量*100%

④矿山生态环境修复率=采用生物、物理、化学工程修复的面积/被破坏的生态环境面积*100%

以上指标的数值越大，矿山生态环境保护工作的成绩就越好。

## 5. 结论及运用

本文以循环经济理论和人口、资源、环境可持续发展的科学发展观为依据，按照系统科学性、动态性、可操作性为原则设立的矿业循环经济评价指标体系，为发展矿业循环经济构建了评估框架。此评价指标体系评价可分为事前立项评价、事中绩效考评和事后效益的跟踪评价，由于篇幅有限，未做实例分析。依该评价体系可进行矿产资源循环经济发展的动态评估，可通过分析不同区域矿业循环利用情况或不同矿种的开发利用状况，反映该区域矿业或该矿种的动态发展趋势。该体系不仅可以为国家或地区相关部门提供矿业开发利用情况的决策依据，同时对于实时监控国内矿业利用的变化，及时反馈各部门并加以改进，对将来的矿产资源勘查开发和可持续利用，具有重要的信息传递及指导作用。

### 参考文献

[1] 沙景华. 首都经济圈循环经济与可持续发展[M] 北京:地质出版社 2007
[2]张凯. 水资源循环经济理论与技术[M]. 北京:科学出版社. 2007
[3]崔彬 矿业循环经济模式[J] 资源与产业 2005,7(6), 42-44
[4]李燕群, 贾瑞强. 循环经济在矿业中的运用[J]. 矿业快报. 2006.11, 5-8
[5] 吴初国 国土资源可持续发展指标体系探索与实践[M] 北京.地质出版社 2006
[6] 孙鸿烈 中国资源科学百科全书[M] 北京.石油大学出版社 2006
[7] 中科院可持续发展战略研究组. 2006 中国可持续发展战略报告[M]. 科学出版社. 2006

# Research of Mineral Circular Economy Evaluation Index System

Sha Jinghua, Ou Ling
Humanities and Management School, China University of Geosciences, Beijing (100083)

**Abstract**

This paper established the mineral circular economy evaluation index system according to science, dynamic, workable principles and based on the Circular Economy Theory and the scientific concept of development that is the sustainability of population, resources and environment; the aim is to construct assessment framework for the development of the mineral circular economy. This index system can be for the prior examination, process monitoring, results evaluating and dynamic assessment for the development of the mineral circular economy. It is also useful for the relevant departments to provide mining development and utilization of the basis for decision-making.

**Keywords**：Mineral Resources；Circular Economy；Mineral Circular Economy；Indicator System

**作者简介：**

沙景华 （1952-）， 女，北京市，教授，硕士生导师，中国地质大学（北京）人文经管学院，研究方向：资源产业经济,投资理财；

欧玲（1980- ），女，硕士研究生，中国地质大学（北京），人文经管学院，研究方向：资源产业经济,投资理财。