**铁矿资源综合利用效益评价体系研究[[1]](#footnote-1)**

张亚明，王雪峰，李文超

（中国自然资源经济研究院，北京 101149）

**摘要：**铁矿资源作为我国重要的战略性矿产资源，是国民经济发展的重要保障。我国铁矿资源分布广泛，资源储量大，共伴生组分多，低品位、难利用矿多，固废产出高、利用低，综合利用潜力巨大。文章在分析我国铁矿资源现状和综合利用现状的基础上，基于主成分分析法确定了符合我国资源特点的综合利用效益评价指标体系权重，对铁矿资源综合利用效益进行客观的评价，从加强技术创新、完善激励约束政策、创新综合利用模式等方面提出了提高我国铁矿资源综合利用效益的建议。

**关键词：**铁矿资源；综合利用；主成分分析法

**中图分类号：**F407.1；F062.1 **文献标识码：**A **文章编号：**1672-6995（2019）04-0000-00

**DOI：**10.19676/j.cnki.1672-6995.0000256

**Research on Benefit Evaluation System of Comprehensive Utilization of Iron Ore Resources**

ZHANG Yaming, WANG Xuefeng, LI Wenchao

(Chinese Academy of Natural Resources Economics, Beijing 101149)

**Abstract:** Iron ore resources as an important strategic mineral resource in China, is an important guarantee for the development of our national economy. China's iron ore resources are widely distributed, with large reserve, large associated minerals, plentiful low grade and difficult utilization ore, the output of solid waste is high and the utilization is low, hence, there is huge potential for comprehensive utilization. This article analyses the status quo of iron ore resources in China and comprehensive utilization status, based on principal component analysis, the weights of comprehensive utilization benefit evaluation index system in accordance with the characteristics of resources in China are determined, and the comprehensive utilization of iron ore resources is objectively evaluated. Following this, the article proposes suggestions for improving the comprehensive utilization of iron ore resources in China in terms of technological innovation, improving incentive and restraint policies, innovating comprehensive utilization models, etc.

**Key words:** iron ore resources; comprehensive utilization; principal component analysis

铁矿资源是钢铁行业发展的基本条件、基础支撑和重要保障，被列为我国战略性矿产资源，对保障国家资源经济安全、国防安全和战略新兴产业发展具有重要意义。我国铁矿资源储量巨大，共伴生、低品位、复杂难利用矿多，废石尾矿产出高、利用水平低，综合利用潜力巨大。由于对铁矿资源综合利用重视不足，导致资源开发利用粗放、有用矿物回收率低、固体废弃物利用程度低、综合利用附加产值低等问题。因此，以习近平生态文明思想为指导，践行“绿水青山就是金山银山”理念，开展铁矿资源综合利用评价体系指标研究，以期实现铁矿资源综合利用评价定量化，为矿政管理部门综合利用规划、管理和经济政策制定提供支撑，实现铁矿资源的综合利用和循环利用，促进生态文明建设。

# 1 矿产资源综合利用内涵

## 1.1 矿产资源综合利用内涵

矿产资源综合利用是地质、经济、采矿、选矿、环境、管理等多学科交叉的领域。从狭义上讲，矿产资源综合利用是在矿产开发过程中，对共生、伴生矿产进行综合勘探、开采和利用；对矿山生产过程中产生的固体废弃物、废液、废气等进行再利用[1-3]。广义的矿产资源综合利用是指对矿产资源全面、充分和合理利用的过程，主要包括：一是在勘查、采选、冶炼过程中对共伴生资源的开发利用；二是在勘查、采选、冶炼过程中对主矿物、低品位矿和难采选（冶）矿物的充分利用；三是对矿山生产过程中的废弃物资源化利用和社会沉淀的废旧资源等的再利用。本文的研究对象是矿山企业，涉及的综合利用主要是矿山企业采选以及矿山治理等环节的综合利用情况，对冶炼及消费环节不做研究。

## 1.2 矿产资源综合利用效益内涵

矿产资源综合利用效益，是指在采选及恢复治理等环节对主矿物、共伴生矿物、低品位矿物、难选矿物以及废弃物等综合利用产生直接和间接效益。其中，直接效益是指通过综合利用为企业带来的资源增量和经济增量，主要包括资源效益和经济效益；间接效益是指通过综合利用对周围环境的改善和为社会带来的贡献，包括环境效益和社会效益。因此，资源效益、经济效益、环境效益和社会效益共同构成了矿山企业矿产资源综合利用效益。

# 2 我国铁矿资源开发利用概况

## 2.1 资源状况

我国铁矿资源储量丰富，分布广泛，主要有以下特点：

（1）贫矿多富矿少。从资源储量看，2017年，我国查明铁矿资源储量为848.88亿吨，其中富铁矿仅10.06亿吨，占比1.2%；铁矿基础储量为196.92亿吨，其中富铁矿基础储量为1.89亿吨，占比不足1%，查明铁矿区数量为4790个。从资源分布看，铁矿资源主要分布在辽宁、四川、河北三个地区，占全国查明资源储量的48%，富铁矿主要分布在贵州、新疆、云南三个地区，占全国富铁矿查明资源储量的63%。

（2）共伴生组分多。我国铁矿石资源按共伴生组分情况可分为五种类型：一是单一铁矿石，基本不含有共伴生组分，主要为磁铁矿；二是铁多金属矿，常共生Cu、S、Co、Zn、Mo、Sn、石膏，伴生有Cu、S、Pb、Zn、Co、Au等组分；三是钒钛磁铁矿，矿石成分复杂，共生有V、Ti，伴生有Cu、Ni、Co、S、Cr等组分；四是多金属—稀土—铁矿石，白云鄂博铁矿即属于此类，铁矿石中共生有稀土、铌钽、萤石，共生资源储量巨大；五是铀—硼—铁矿石，其中硼铁共生，伴生镁、铀等有用资源的多元素。

## 2.2 开发利用现状

铁矿石大规模开发推动了矿山企业的技术进步，在采出品位逐年降低的情况下开采回采率呈上升趋势。2017年，地采矿山采出品位为33.2%，同比降低0.6个百分点，开采回采率为87.6%，同比提高了1.5个百分点；露采矿山采出品位为27.5%，开采回采率为96.6%，二者基本保持稳定。（参见图1）

2017年，铁矿平均入选品位为27.7%，选矿回收率为79.0%，精矿品位为63.7%，随着选矿工艺的不断改进和创新，在入选品位降低的情况下，选矿回收率逐年提高，精矿品位相比2016年基本持平。从矿石性质来看，我国铁矿石主要分为磁铁矿、赤铁矿和铁多金属矿。其中，磁铁矿选矿回收率为80.9%，赤铁矿选矿回收率为75.7%，铁多金属矿选矿回收率为71.4%。（参见图1）

**图1 2017年我国铁矿石开发利用水平**

## 2.3 综合利用现状

近年来，我国铁矿行业全面贯彻节约优先战略，推动矿业高质量发展，加强铁矿资源综合利用，主要集中在低品位矿、难选冶矿、残留矿的利用，共伴生矿综合利用，废石、尾矿、废水等废弃物的综合利用，促进了产业转型升级和生态文明建设。

（1）通过对低品位、难采残矿、难选矿技术攻关，盘活铁矿资源100亿吨以上。

（2）共伴生资源综合回收利用，特别是钒钛磁铁矿、铁稀土多金属矿、硼铁矿等的综合回收利用技术取得新突破。2017年，铁矿行业综合利用产值为95.1亿元，综合利用产值在总产值的占比为8.3%，矿石价格的升高带动了企业综合利用的积极性（图2）。

（3）铁矿企业废水循环利用率达到90%以上，固体废弃物资源化利用率超过20%、安全处置和贮存率达82.8%。

**图2 2006—2017年我国铁矿资源综合利用年产值**

# 3 铁矿资源综合利用效益评价体系构建

## 3.1 评价指标选取

通过矿产资源综合利用效益内涵分析可知，综合利用效益主要包括资源效益、经济效益、环境效益和社会效益，因此，构建铁矿资源综合效益评价指标体系，要从这四个方面选取能够反映矿山企业综合利用情况的指标。同时，由于矿山企业环境复杂多变，影响综合利用的因素较多，不同因素之间可能存在关联，选择因素过多或不足，都会难以对综合利用效益进行全面、准确的评价。因此，通过咨询相关领域专家进行指标初选，并采用层次分析法对指标进一步筛选，选取了15个指标，如表1所示。

**表1 铁矿资源综合利用效益评价指标含义**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **符号** | **含义** | **单位** | **符号** | **含义** | **单位** |
| C1 | 盘活的低品位矿资源量 | 万吨 | C9 | 节能量 | 吨标煤 |
| C2 | 盘活的难选冶资源量 | 万吨 | C10 | 废水利用率 | % |
| C3 | 开采回采率 | % | C11 | 吨精矿能耗 | % |
| C4 | 选矿回收率 | % | C12 | 绿化及复垦率 | % |
| C5 | 共伴生矿利用率 | % | C13 | 对国民经济支撑能力 |  |
| C6 | 销售利润率 | % | C14 | 综合利用管理及技术的示范带动作用 |  |
| C7 | 净资产收益率 | % | C15 | 和谐矿区建设 |  |
| C8 | 固废利用率 | % |  |  |  |

## 3.2 主成分分析原理

主成分分析法是霍特林提出的一种将多个指标化为少数几个主要指标的多元统计分析方法，基本思想是在尽可能多地反映原指标所包含信息的情况下，突出主要因素，排除次要因素，将多指标问题转化为几个核心指标问题，简化问题分析，提高分析效率[4-6]。主成分分析法的步骤如下[7]：

（1）将原始数据进行标准化处理，求得标准化矩阵：

（1）

式（1）中，

标准化矩阵为：

（2）

式（2）中，n为样本量，m为指标数，zij为第i个样本第j个指标标准化值。

（2）根据标准化矩阵求解相关系数矩阵：

（3）

式（3）中，

相关系数矩阵为：

（4）

（3）求解特征根与特征向量。

根据相关系数矩阵得到特征方程：

（5）

将计算的特征根由大到小排序：，并求出与特征值对应的特征向量。

（4）计算贡献率和累计贡献率，选取主成分。

第i个成分的贡献率：

（6）

累计贡献率：

（7）

（5）计算主成分载荷：

（8）

式（8）中，L表示主成分的个数；*e*Lj表示第L个主成分特征向量的第j个分量。

（6）根据各指标荷载值和各主成分的贡献率计算各指标分值，将各指标分值进行归一化处理，计算各指标权重：

（9）

（10）

## 3.3 计算指标权重

（1）按照矿山的生产规模和技术水平，选取了7座大中型矿山。对于定量数据，通过实地调研获取7座矿山基础数据；对于定性数据，采用专家意见法对7座矿山进行评分，获得基础数据。对选取的7座矿山的指标数据进行标准化，得到标准化矩阵，如表2所示。

（2）由表2的标准化数据计算相关系数矩阵，如表3所示。

（3）由表3计算特征根、贡献率和累计贡献率（表4），根据提取主成分包含原始变量信息的80%以上、特征根大于1的原则，选取4个主成分。

**表4 主成分贡献率和累计贡献率**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 主成分 | 特征根 | 方差贡献率/% | 方差累计贡献率/% |
| 1 | 6.495 | 43.299 | 43.299 |
| 2 | 2.641 | 17.605 | 60.904 |
| 3 | 2.177 | 14.515 | 75.419 |
| 4 | 1.784 | 11.893 | 87.312 |
| 5 | 0.974 | 6.495 | 93.807 |
| 6 | 0.929 | 6.193 | 100.000 |

（4）计算主成分荷载，结果见表5。

**表5 主成分荷载**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 指标 | 主成分 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 盘活的低品位矿资源量 | 0.906 | 0.194 | 0.150 | -0.069 |
| 盘活的难选冶资源量 | 0.851 | 0.126 | 0.258 | -0.101 |
| 开采回采率 | 0.369 | -0.242 | -0.409 | 0.731 |
| 选矿回收率 | 0.816 | 0.035 | -0.242 | -0.404 |
| 共伴生矿利用率 | 0.793 | 0.090 | 0.161 | 0.516 |
| 销售利润率 | -0.010 | 0.949 | 0.171 | -0.209 |
| 内部投资收益率 | -0.417 | -0.181 | 0.803 | 0.382 |
| 固废利用率 | 0.830 | 0.401 | -0.277 | 0.202 |
| 节能量 | 0.267 | 0.294 | -0.633 | 0.032 |
| 废水利用率 | 0.470 | 0.335 | 0.637 | -0.140 |
| 吨精矿能耗 | 0.469 | -0.718 | 0.235 | -0.320 |
| 绿化及复垦率 | 0.788 | -0.081 | 0.230 | 0.561 |
| 对国民经济支撑能力 | 0.855 | -0.112 | 0.302 | -0.250 |
| 综合利用管理及技术的示范带动作用 | 0.750 | -0.050 | -0.250 | -0.177 |
| 和谐矿区建设 | 0.477 | -0.830 | -0.130 | -0.208 |

（5）计算各指标权重。根据式（9）、式（10）计算各指标权重，将效益层包含的各指标的权值求和，即为资源效益、经济效益、环境效益和社会效益的权重（表6）。

**表2 标准化矩阵**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 |
| 矿山1 | 0.656 | 0.378 | 0.916 | 0.799 | 1.002 | -0.993 | -0.593 | 1.073 | 0.967 | 0.863 | 1.744 | 1.164 | 1.419 | 1.333 | 1.464 |
| 矿山2 | 0.666 | 0.656 | 1.033 | 0.196 | 0.807 | 1.404 | -0.614 | 1.577 | 0.295 | 0.270 | -1.339 | 0.749 | 0.315 | 0.944 | -1.269 |
| 矿山3 | 0.712 | 0.386 | -0.413 | 0.864 | 0.644 | -0.030 | -0.531 | 0.171 | 1.257 | -0.386 | -0.520 | 0.115 | -0.788 | -0.999 | 0.098 |
| 矿山4 | 0.478 | 0.680 | -1.644 | 0.896 | -0.918 | 0.949 | -0.568 | -0.256 | -0.579 | 0.653 | 0.484 | -0.972 | 0.867 | 0.555 | 0.098 |
| 矿山5 | 0.358 | 0.776 | 0.525 | -0.171 | 0.545 | -1.063 | 1.264 | -0.637 | -1.728 | -0.391 | 0.515 | 0.884 | 0.315 | -0.222 | 0.781 |
| 矿山6 | -1.167 | -1.242 | -0.863 | -1.744 | -0.478 | 0.565 | 1.645 | -0.981 | -0.268 | 0.900 | -0.407 | -0.488 | -0.788 | -1.388 | -1.269 |
| 矿山7 | -1.703 | -1.634 | 0.447 | -0.839 | -1.600 | -0.832 | -0.602 | -0.948 | 0.057 | -1.909 | -0.479 | -1.452 | -1.340 | -0.222 | 0.098 |

**表3 相关系数矩阵**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 |
| C1 | 1 | 0.966 | 0.107 | 0.85 | 0.782 | 0.182 | -0.315 | 0.714 | 0.174 | 0.474 | 0.265 | 0.706 | 0.718 | 0.496 | 0.304 |
| C2 | 0.966 | 1 | 0.082 | 0.796 | 0.694 | 0.169 | -0.216 | 0.601 | -0.075 | 0.416 | 0.266 | 0.663 | 0.74 | 0.505 | 0.308 |
| C3 | 0.107 | 0.082 | 1 | 0.024 | 0.497 | -0.404 | -0.175 | 0.509 | 0.162 | -0.28 | 0.007 | 0.604 | 0.129 | 0.446 | 0.23 |
| C4 | 0.85 | 0.796 | 0.024 | 1 | 0.463 | 0.033 | -0.69 | 0.616 | 0.352 | 0.182 | 0.357 | 0.371 | 0.623 | 0.588 | 0.515 |
| C5 | 0.782 | 0.694 | 0.497 | 0.463 | 1 | -0.045 | -0.007 | 0.722 | 0.274 | 0.441 | 0.188 | 0.963 | 0.511 | 0.307 | 0.215 |
| C6 | 0.182 | 0.169 | -0.404 | 0.033 | -0.045 | 1 | -0.118 | 0.302 | 0.084 | 0.444 | -0.586 | -0.173 | 0.036 | 0.033 | -0.796 |
| C7 | -0.315 | -0.216 | -0.175 | -0.69 | -0.007 | -0.118 | 1 | -0.566 | -0.626 | 0.215 | 0.01 | 0.088 | -0.2 | -0.598 | -0.226 |
| C8 | 0.714 | 0.601 | 0.509 | 0.616 | 0.722 | 0.302 | -0.566 | 1 | 0.53 | 0.382 | 0.012 | 0.665 | 0.584 | 0.72 | 0.036 |
| C9 | 0.174 | -0.075 | 0.162 | 0.352 | 0.274 | 0.084 | -0.626 | 0.53 | 1 | 0.063 | -0.075 | 0.096 | -0.073 | 0.122 | 0.017 |
| C10 | 0.474 | 0.416 | -0.28 | 0.182 | 0.441 | 0.444 | 0.215 | 0.382 | 0.063 | 1 | 0.334 | 0.419 | 0.651 | 0.236 | -0.114 |
| C11 | 0.265 | 0.266 | 0.007 | 0.357 | 0.188 | -0.586 | 0.01 | 0.012 | -0.075 | 0.334 | 1 | 0.308 | 0.668 | 0.401 | 0.853 |
| C12 | 0.706 | 0.663 | 0.604 | 0.371 | 0.963 | -0.173 | 0.088 | 0.665 | 0.096 | 0.419 | 0.308 | 1 | 0.594 | 0.401 | 0.306 |
| C13 | 0.718 | 0.74 | 0.129 | 0.623 | 0.511 | 0.036 | -0.2 | 0.584 | -0.073 | 0.651 | 0.668 | 0.594 | 1 | 0.796 | 0.467 |
| C14 | 0.496 | 0.505 | 0.446 | 0.588 | 0.307 | 0.033 | -0.598 | 0.72 | 0.122 | 0.236 | 0.401 | 0.401 | 0.796 | 1 | 0.379 |
| C15 | 0.304 | 0.308 | 0.23 | 0.515 | 0.215 | -0.796 | -0.226 | 0.036 | 0.017 | -0.114 | 0.853 | 0.306 | 0.467 | 0.379 | 1 |

**表6 指标权重**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **目标层** | **效益层** | **相对于目标层权重** | **指标层** | **相对于目标层权重** |
| 综合利用效益 | 资源效益 | 0.441 | 盘活的低品位矿资源量 | 0.113 |
| 盘活的难选冶资源量 | 0.106 |
| 开采回采率 | 0.037 |
| 选矿回收率 | 0.071 |
| 共伴生矿利用率 | 0.114 |
| 经济效益 | 0.055 | 销售利润率 | 0.042 |
| 内部投资收益率 | 0.013 |
| 环境效益 | 0.341 | 固废利用率 | 0.106 |
| 节能量 | 0.020 |
| 废水利用率 | 0.087 |
| 吨精矿能耗 | 0.019 |
| 绿化及复垦率 | 0.109 |
| 社会效益 | 0.163 | 对国民经济支撑能力 | 0.093 |
| 综合利用管理及技术的示范带动作用 | 0.066 |
| 和谐矿区建设 | 0.004 |

从效益层看，资源效益和环境效益是影响铁矿资源综合利用效益的关键因素，符合资源高效利用和清洁利用的发展方向。其中，资源效益要求对铁矿资源进行高效、充分利用，符合国家坚持“节约优先、保护优先”的方针政策，环境效益要求在资源开发过程中尽量减少对生态环境的扰动和破坏，满足生态文明建设的基本要求。同时，还要兼顾企业在综合利用过程中的自身效益，保证矿山企业对资源综合利用的积极性和主动性。从指标层看，共伴生矿利用率和盘活的低品位矿资源量的权重最高，表明共伴生资源和低品位资源对综合利用效益影响巨大，符合我国铁矿资源共伴生组分多、低品位矿多的特点。其次是绿化及复垦率和固废利用率，这两个指标反映的是矿山生产过程中对环境的恢复和治理，以减少矿山生产对环境造成的影响。综上所述，计算得出的指标权重符合我国铁矿资源现状和国家政策要求，能够客观地评价我国铁矿企业资源综合利用情况。

# 4 建议

资源综合利用是充分利用矿产资源、提高综合效益、实现资源可持续发展的必然要求，是实现绿色矿山建设的必要条件，更是落实“节约优先、保护优先”、建设生态文明、发展循环经济的重要抓手。结合铁矿资源综合利用效益评价指标，提出以下建议：

（1）突破铁矿资源综合利用技术瓶颈，搭建技术推广平台。一是以矿山企业为主体，搭建产、学、研、用的科技创新平台，着力解决铁矿资源中共伴生、低品位、难选冶资源的开发利用难题，形成一批技术成熟、适用性强的先进技术和经验。二是搭建跨行业、跨地区的技术交流推广平台，开辟铁矿资源综合利用信息的交流渠道，加速科技成果的转化。

（2）完善资源综合利用激励约束政策，促进企业开展综合利用。一是建立健全综合利用税费优惠政策，对综合利用低品位矿、伴生矿、固体废弃物的矿山企业给与税费优惠支持，提高企业综合利用的积极性。二是建立资源环境保护制度，要求企业充分、高效利用资源，避免资源浪费，对生产过程中产生的环境问题负主体责任，负责周边环境的恢复治理。

（3）创新铁矿资源综合利用模式，提升综合利用整体水平。围绕企业综合利用和产业链发展规划，开展大型综合利用项目，实现资源的综合性开发、规模化利用，对采选过程中产生的固体废弃物进行二次开发，实现固废的深度加工和综合利用，拓宽资源综合利用领域，扩大综合利用规模，建立可持续发展的铁矿资源开发利用模式。

# 参考文献

[1]王瑜.矿产资源综合利用手册[M].北京：科学出版社,2000.

[2]王海军,薛亚洲.我国矿产资源节约与综合利用现状分析[J].矿产保护与利用,2017(2):1-5，12.

[3]崔振民,吴伟宏,姜琳,等.浅析我国矿产资源综合利用[J].中国矿业,2013,22(2):40-43.

[4]赵忠琦,初道忠.基于主成分分析法对矿产资源自然禀赋综合评价的研究[J].中国矿业,2019,28(1):52-57，91.

[5]陈兵丽,张乐勤.基于主成分分析的铜陵市矿产资源开发社会效益综合评价[J].安徽商贸职业技术学院学报(社会科学版),2016,15(2):27-31.

[6]贾文龙,范继涛.基于主成分分析法的铁矿山资源保障能力研究[J].金属矿山,2009(8):10-14，34.

[7]何晓群.多元统计分析（第4版）[M].北京：中国人民大学出版社,2015.

1. **收稿日期：**2019-04-09；**修回日期：**2019-04-17

   **基金项目：**地质行业基金项目“重要矿产资源节约集约利用年度评价与技术推广示范”（121102000000180009）

   **作者简介：**张亚明（1991—），男，河北省沧州市河间市人，中国自然资源经济研究院研究实习员，采矿工程硕士，主要从事矿产资源综合利用研究工作。 [↑](#footnote-ref-1)