

# 基于熵权法的中国铁矿石安全评价\*

刘冲昊<sup>1,2</sup>, 柳群义<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心, 北京 100037)

**摘要:**从资源、产业、环境、市场四个维度出发,建立了中国铁矿石安全综合评价指标体系,采用熵权法对2000—2015年中国铁矿石安全状况进行定量评价。资源安全和市场安全指数在21世纪初期整体呈下降趋势;产业安全指数对铁矿石的安全的影响起初较小,后快速上升;环境安全程度在2005年以前快速降低,之后逐渐升高;铁矿石的安全状况在资源安全、环境安全、产业安全、市场安全的综合作用下,2000—2009年,铁矿石安全综合指数呈波动下降的趋势;2009—2015年,铁矿石安全综合指数在波动中略有上升,但仍处于临界不安全状态。为提高中国铁矿石的供应安全,不仅要强化勘探开发、节约和再生铁矿资源以增强本国资源供应能力,还应加强合作,强化全球矿产资源布局。

**关键词:**中国;铁矿石;安全评价;熵权法

中图分类号:F416.1 文献标识码:A 文章编号:1001-0076(2018)05-0086-08

DOI:10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2018.03.000

## Safety Evaluation of Iron Ore in China Based on Entropy Weight Method

LIU Chonghao<sup>1,2</sup>, LIU Qunyi<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Based on the four dimensions of resource, industry, environment and market, this paper established the comprehensive evaluation index system of iron ore in China, and integrated the entropy weight method and technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS) method to quantitatively evaluate the safety situation of iron ore in China from 2000 to 2015. Resource security index and market safety index showed downward trends as a whole during the studied period. The impact of industrial safety index on the safety of iron ore was initially small and then increased rapidly. The environmental safety index declined rapidly before the year 2005 and was followed by a positive impact on the safety of iron ore. The comprehensive security situation of iron ore showed a downward trend in 2000—2009 while increased slightly in the volatility in 2009—2015, but still in a critical state of insecurity. To guarantee the safety situation of iron ore in China, the domestic iron ore supply must be improved by intensifying geological exploration and saving resources, and the international cooperation and global resources layout should also be intensified.

**Key words:** China; iron ore; safety evaluation; entropy weight method

\* 收稿日期:2018-04-19

基金项目:中国地质调查局地质调查项目(DD20160084)

作者简介:刘冲昊(1989-),男,主要从事矿床学和矿产资源战略方向研究,E-mail:liuchonghao@cags.ac.cn。

矿产资源安全是指一国或地区可以稳定、适时、持续地控制和获取保障国民经济当前发展、参与国际竞争和未来可持续发展需要的战略矿产资源的状况<sup>[1]</sup>。作为国民经济的基础产业,钢铁行业为国民经济建设大部分行业提供了必备材料,并在社会经济发展与国防建设中发挥重要的作用。中国铁矿石长期依赖于进口。据世界钢铁协会(The World Steel Association)统计数据,2016年中国铁矿石原矿产量13.8亿t,折合标矿仅1.24亿t,净进口量达10.25亿t(标矿,下同),对外依存度由2000年的33.37%上升到2016年的89.21%。近年来,随着经济的快速发展和城市化进程的推进,中国的铁矿石需求持续保持高位,铁矿石资源的安全形势不容乐观。因此,加快对铁矿石安全问题的探索迫在眉睫。

安全评价是一国安全政策制定的重要工具,涉及识别和评估所有可能的风险并提出措施来减少风险<sup>[2]</sup>,对于几乎所有的行业都至关重要。在能源安全领域,学者们一方面探讨了政府、工业、民间社会、学术界等用户对能源安全不同态度和意见<sup>[3-5]</sup>;另一方面,在研究中建立了能源安全评价指标体系,涉及资源的可获性、可供性、效率、可持续性和监管等各个方面,供政策制定者和学者分析、测量、跟踪,并比较国家的能源安全性能<sup>[6-19]</sup>。作为国家安全的一部分,矿产资源安全也受到了学术界和社会各界的广泛关注。Gul等<sup>[20]</sup>采用基于决策矩阵技术的模糊多准则风险评估技术对位于土耳其泰基尔达的一家铝工业企业面临的风险进行评价;Wang等<sup>[21]</sup>构建了基于“压力-状态-反应”(PSR)模型的中国铜资源安全综合评价指标体系,并采用熵值法对中国铜资源的安全态势进行分析;Hou等<sup>[22]</sup>采用粗糙模糊神经网络对中国铁矿石的进口风险进行早期预警;刘璇等<sup>[23]</sup>构建了包括国内供需因素、进口因素、国际市场因素在内的3个二级指标的铬资源供应安全指标体系,并采用层次分析法评价了中国铬资源供应安全现状;李颖等<sup>[24]</sup>选取了39种战略性矿产资源,创建了包括资源对外依存度、资源通道依存度和资源地域依存度在内的的海外矿产资源供应安全指标体系,系统评价了中国39种矿产资源海外供应的总体安全状况;代涛等<sup>[25]</sup>选取资源可采储量、资源储采比、资源自给率、资源进口份额、资源进口集中度等5个指标对中国铁、铜、铝等大宗性矿产

资源安全性进行综合分析;永学艳等<sup>[26]</sup>在分析矿产资源安全影响因素的基础上,构建了我国矿产资源安全评价指标体系,并利用层次分析法对中国石油、铁矿、钨矿资源进行安全评价。

虽然国内外学者针对矿产资源安全展开了详细研究,并取得了一些成果,但也不可避免的存在一些问题:(1)研究对象主要集中在能源矿产,对重要固体非能源矿产安全度的关注相对较低;(2)评价指标的选取有时候过于宏观,没有考虑铁矿石的特征,而且没有对环境的因素进行考量;(3)评价的结果往往局限于对资源安全性的判断,而缺少对其原因的深入探讨;(4)研究的方法常采用受评价者经验限制的主观赋权法,无法确定综合评价结果的客观性。基于上述原因,本文从资源、产业、环境、市场四个维度出发,建立了中国铁矿石综合评价指标体系,采用熵权法改进了评价的客观性和真实性。通过计算的结果评估铁矿石安全态势及演化轨迹,为完善安全防范机制和政策提供依据,促进资源、环境与社会经济的可持续发展。

## 1 铁矿石安全评价指标体系构建

### 1.1 评价指标的选择

矿产资源安全评价应具有相对性和针对性,针对不同矿种、不同区域,其评价指标和标准也会不同。从供应安全的角度看,主要包括资源的储采比、进口来源、运输、效率、价格等因素。从使用安全的角度看,主要受消费结构、污染物排放、可替代新资源等因素的影响。

此外,矿产资源的安全,不仅要保证持续的、稳定的、可靠的、经济的、及时的能源供应,还要保证其对环境的友好性及发展的可持续性。借鉴国内相关研究成果,我们从资源安全、环境安全、产业安全和市场安全四个方面选取评价指标,同时考虑数据的可获得性,最终确定四类十二个评价指标来进行铁矿资源的安全评价(图1)。

### 1.2 要素指标的含义和说明

#### (1) 静态储采比

静态储采比 = 当年储量 / 当年产量,显示国内剩余储量可供开采的时间长短。储采比越大,表明当前水平下,资源储量可以满足的开采年限越长,资源

相对越安全。

(2)单位 GDP 铁矿石消费量

即铁矿石消费强度,由铁矿石消费总量与 GDP 的比值得来。单位 GDP 铁矿石的消费越高,说明铁矿石需求相对越大,供应压力越大,越不安全。

(3)人均铁矿石消费量

相比于铁矿石消费总量,人均铁矿石消费量更能反映出铁矿石的实际消费水平。该指标为负向指标,值越小,越安全,反之越不安全。

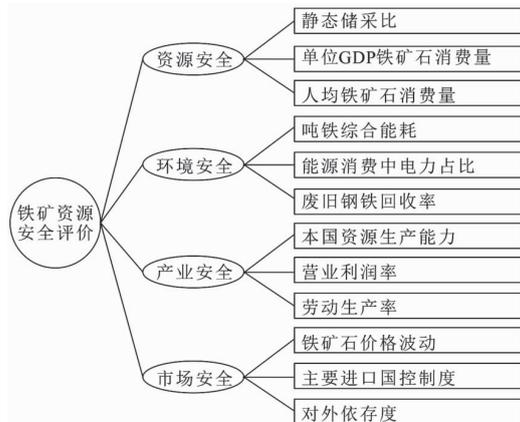


图 1 铁矿石安全评价指标体系

Fig. 1 Safety evaluation index system of iron ore

(4)吨铁综合能耗

吨铁综合能耗 = 能源消费/铁矿石的产量,反映资源开采的能源消费水平。

(5)能源消费中电力的占比

即黑色金属矿采选业电力消费总量占总能源消费量的比例。电力作为清洁能源,其在能源消费中的比重反映出采选环节对环境的影响。占比越高,对环境越友好。

(6)废旧钢铁回收率

反映了资源重复利用的程度。数值越高,说明资源的重复利用能力越强,可以减轻不可再生性矿产资源的消耗,一次资源的供给压力越小。

(7)本国资源生产能力

用国内铁矿石产量占世界总产量比重来表示。如果一个国家在矿产品生产占据较大的份额,资源供应的能力就越强。

(8)营业利润率

反应出铁矿采选企业的盈利水平,营业利润越高,企业就越具有竞争力,越有利于企业的发展,资

源的供应就越有保障。

(9)劳动生产率

劳动生产率 = 铁矿企业工业总产值/年平均从业人数。反映出铁矿勘探、开采、综合利用的效率,劳动生产率越高,长期供应有更多物质保证,供应越安全。

(10)铁矿石价格波动

国际市场铁矿石的供需状况会直接影响铁矿石的价格,这里采用价格波动指数的绝对值来指示价格波动程度: $P_c = |(P_N - P_0)| / P_0 * 100%$ ,式中  $P_N$  为本期资源价格; $P_0$  为上期价格。

铁矿石的价格采用我国铁矿石年平均进口价格(铁矿石进口金额/进口数量)。为了反应价格的实际波动水平,价格以 2000 年为基期,采用进出口价格指数进行折算。

(11)主要进口国控制度

即进口国来源集中度(从主要进口国进口量之和/总进口量),主要反映中国铁矿石进口地的集中程度。如果铁矿石进口来源和渠道太集中,则会导致进口集中度高,不利于分散风险。

(12)对外依存度

铁矿石对外依存度(铁矿净进口量/本国年消费量)反映了本国铁矿石消费依赖从国外进口的程度;这里考察的是海外非中国控制的铁矿石资源进口量。通常,对外依存度越高,则不安全程度越高。

## 2 研究方法

已有文献多采用层次分析法、模糊综合评价法、主成分分析法等方法来评价资源安全;然而,层次分析法和模糊综合评价法在计算指标权重时的主观性较强,主成分分析不能反映全部指标的信息<sup>[27-30]</sup>。鉴于此,本文选取一种依据历史客观数据反映实际情况的评价方法——熵权法,从而有效避免指标权重计算的主观随意性和模糊性。

熵是一种不确定性的定量化度量,最先由 C. E. Shannon 将原本热力学概念的熵引入信息论,称之为信息熵<sup>[30-31]</sup>。考虑系统具有  $n$  个结果的概率试验,并设这些结果是离散型的概率  $P_i (i = 1, 2, \dots, n)$ ,则该系统的熵为:

$$E = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i, 0 \leq P_i \leq 1, \sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (1)$$

熵权法是通过计算指标的信息熵,利用指标的

差异程度来度量已知数据中包含的有效信息和指标权重。熵值越小,说明指标的离散程度越大,表明其信息的有效价值越大,该指标在综合评价中对目标的影响也就越大。若某列元素数值都相同,则熵最大值为1,熵权为0。这表明在某指标上若各评价对象的数值相同,则该指标未包含任何有价值的信息。若某列元素数值相差越大,则熵值就越小,熵权就越大,则说明该指标包含的有价值的信息越多,指标越重要。应用熵权法进行评价的操作步骤如下:

(1) 初始数据矩阵标准化

设有  $m$  个评价对象,  $n$  个评价指标, 则形成评价系统的初始数据矩阵:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中,  $x_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$  表示第  $i$  个评价对象在第  $j$  项指标中的数值;  $X_j (j = 1, 2, \dots, n)$  表示第  $j$  个指标的全部评价对象的列向量数据。

由于各指标的量纲单位均存在差异,为消除因量纲不同对评价结果造成的影响,需要对各指标进行无量纲化处理。常采用极差变换法,公式为:

$$X'_j = \frac{X_j - \min\{X_j\}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (\text{适用于正向指标})$$

$$X'_j = \frac{\max\{X_j\} - X_j}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (\text{适用于负向指标}) \quad (3)$$

(2) 计算第  $j$  项指标第  $i$  个评价对象  $x'_{ij}$  的比重  $y'_{ij}$ :

$$y'_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

由此得到比重矩阵:

$$Y = (y_{ij})_{m \times n} \quad (5)$$

(3) 计算第  $j$  项指标信息熵的值  $e_j$ :

$$e_j = -K \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

其中,  $K = \frac{1}{\ln m}$  为非负常数,且  $0 \leq e_j \leq 1$ ; 并规定当  $y_{ij} = 0$  时,  $y_{ij} \ln y_{ij} = 0$ 。

(4) 计算第  $j$  项指标的差异系数  $d_j$ :

$$d_j = 1 - e_j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

(5) 计算第  $j$  项指标的权重  $w_j$ :

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

(6) 计算评价方案  $i$  的评价值  $U_i$ :

$$U_i = \sum_{j=1}^n y_{ij} w_j \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

通过初始数据矩阵标准化,计算评价指标信息熵值和权重,从而得到评价方案的评价值。

安全评价标准和等级的确定也是铁矿石安全评价的关键环节,标准和等级设置是否科学合理直接影响评价结果的正确性。根据国内外相关规定与相关文献,依据实际情况来确定铁矿石安全评价指标评价值分级标准(表1)。

表1 矿产资源安全评价价值判断标准<sup>[32]</sup>  
Table 1 Evaluation standard for the safety evaluation of mineral resources

极端不安全	严重不安全	中度不安全	轻度不安全	濒临不安全
0~0.09	0.10~0.19	0.20~0.29	0.30~0.39	0.40~0.49
勉强安全	初级安全	中级安全	良好安全	优质安全
0.50~0.59	0.60~0.69	0.70~0.79	0.80~0.89	0.90~1.00

### 3 数据来源

本文数据主要涉及资源、经济、环境和贸易四方面。资源和环境数据中,铁矿石储量、能源消费等数据来自中国统计局;铁矿石产量和粗钢消费量数据来自世界钢铁工业统计年鉴,铁矿石消费量按照生铁的消费量乘以1.6的系数进行估算;废钢的回收量来源于世界金属统计局(WBMS)。经济数据中,人口、营业利润和营业收入等数据来源于中国统计局,铁矿企业的劳动生产率和工业产值数据来源于中国国土资源年鉴。铁矿石贸易数据从联合国贸易数据库(UN Comtrade Database)获得。

### 4 评价结果与分析

应用熵权法计算得到铁矿资源安全评价体系中的各个指标的权重(表2),进而得到各年度各指标的安全评价价值表(表3)和变化趋势(图2)。

#### 4.1 综合安全分析

铁矿石的安全状况依赖于资源安全、环境安全、产业安全、市场安全的综合作用。由图2可以看出,铁矿石资源安全和市场安全指数呈现出下降的趋势,产业安全指数呈上升趋势,而环境安全呈“U”型。在四个一级指标的共同影响和作用下,2000年

表2 熵权法各指标权重表

Table 2 The index weights for safety evaluation based on entropy weight method

总目标	第一指标层		第二指标层		总权重
	指标	权重	指标	权重	
铁矿石安全评价	资源安全	0.343 6	储采比	0.531 3	0.182 6
			单位 GDP 铁矿石消费量	0.181 9	0.062 5
			人均铁矿石消费量	0.286 7	0.098 5
	环境安全	0.279 2	吨铁综合能耗	0.257 7	0.071 9
			能源消费中电力占比	0.238 1	0.066 5
			废钢回收占粗钢比例	0.504 3	0.140 8
	产业安全	0.253 6	本国资源生产能力	0.226 6	0.057 5
			营业利润率	0.336 7	0.085 4
			劳动生产率	0.436 7	0.110 7
			铁矿石价格	0.252 3	0.031 2
市场安全	0.123 7	主要进口国控制度	0.320 9	0.039 7	
		对外依存度	0.426 8	0.052 8	

表3 各年度评价价值表

Table 3 The list of values for safety evaluation

年份	资源安全	环境安全	产业安全	市场安全	总绩效值
2000	0.833 6	0.649 8	0.063 6	0.825 2	0.586 1
2001	0.846 2	0.433 1	0.080 9	0.782 8	0.529 1
2002	0.757 9	0.327 3	0.074 5	0.748 6	0.463 3
2003	0.695 5	0.177 6	0.189 0	0.717 6	0.425 3
2004	0.665 2	0.174 9	0.389 5	0.600 1	0.450 4
2005	0.517 7	0.150 5	0.543 7	0.781 3	0.454 5
2006	0.387 3	0.305 0	0.540 5	0.713 5	0.444 8
2007	0.372 3	0.360 7	0.715 9	0.659 0	0.491 7
2008	0.389 8	0.417 6	0.809 6	0.602 3	0.530 3
2009	0.267 2	0.424 3	0.548 8	0.418 0	0.401 1
2010	0.280 5	0.457 6	0.744 6	0.427 7	0.465 9
2011	0.235 8	0.475 0	0.843 0	0.533 4	0.493 4
2012	0.217 9	0.610 0	0.736 1	0.410 7	0.482 6
2013	0.158 3	0.494 0	0.690 5	0.488 5	0.426 2
2014	0.167 1	0.794 6	0.545 1	0.267 1	0.450 5
2015	0.104 7	0.817 4	0.328 9	0.132 3	0.363 9

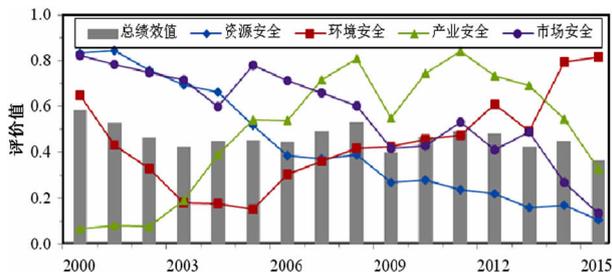


图2 中国铁矿石安全评价各指标因素评价价值和总评价价值走势图

Fig. 2 Value trends of various indexes and overall index of iron ore safety evaluation in China

以来,中国铁矿资源安全程度状态具体可分为两个阶段。第一阶段(2000—2009年):铁矿石安全综合指数呈波动下降的趋势,表现为恶化的不安全系统。第二阶段(2009—2015年):铁矿安全综合指数在波动中略有上升而后下降,安全状态由濒临不安全最终下降至轻度不安全,说明铁矿石安全水平曾得到改善,但近几年有所恶化。2009年,受金融危机的影响,资源安全、产业安全和市场安全度下降,虽然环境安全度上升,但不足以抵消资源安全、产业安全和市场安全度下降对综合安全产生的负面影响,从而造成铁矿石的安全综合指数在2009年出现转折,逐渐减弱,目前处于轻度不安全的水平。

## 4.2 资源安全分析

21世纪初,我国工业化进程快速推进引起铁矿资源需求量大增<sup>[33]</sup>,供给满足不了消费的需求,资源安全不断下降。受到中国铁矿资源禀赋及勘查开发技术等方面的限制,中国铁矿石储采比年限逐年降低;同时,随着中国经济的快速发展,人均铁矿石消费量不断上升(图3);因此,虽然铁矿石消费强度有所下降,但是铁矿石安全仍然呈快速下降趋势,由2000年的0.833 6下降到2015年的0.104 7。

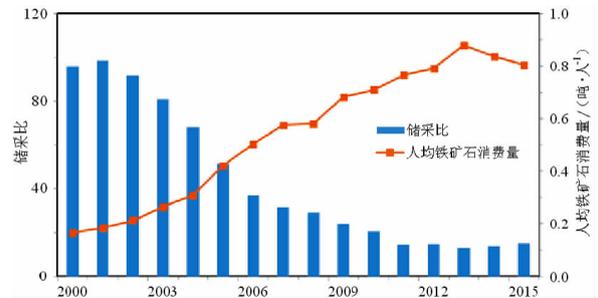


图3 中国铁矿石储采比和人均铁矿石消费量的变化

Fig. 3 Trends of reserve production ratios and iron ore consumption per capita in China

目前,中国经济发展进入新常态,中国粗钢年消费量已经越过峰值<sup>[34]</sup>,未来铁矿资源的需求量将会有所减少,资源安全的压力将会有所缓解。

## 4.3 环境安全分析

进入21世纪,铁矿石环境安全指数在早期下降较快,对铁矿石安全带来不利影响,这主要是由于2005年之前,我国废钢回收率不断下降,而吨铁的综合能耗却在不断上升。虽然资源的清洁化利用水平有所提高,但是无法弥补二次资源利用水平低及

资源生产能耗高对环境安全产生的不利影响。2005年后,废钢回收利用水平缓慢提高,吨铁的能源消耗开始下降,从2005年的0.0231 t 标煤/t 下降到2015年的0.0120 t 标煤/t,加之铁矿石采选行业能源消费结构的清洁化影响,环境因素对铁矿石安全的不利影响开始减弱。

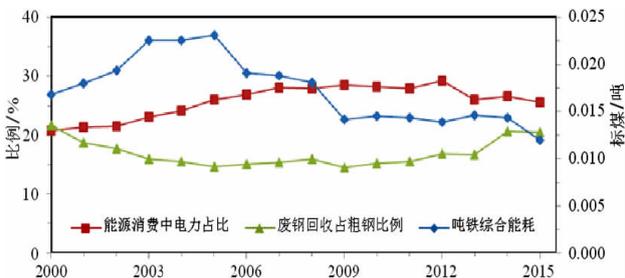


图4 中国铁矿石环境安全各评价指标变化趋势  
Fig. 4 Trends of iron ore environmental safety evaluation indexes in China

#### 4.4 产业安全分析

21世纪早期,产业安全对铁矿石安全的影响较小,后快速上升,这主要是劳动生产率迅速提高的结果。本国资源生产能力和规模以上黑色金属矿采选业营业利润率对铁矿石早期的产业安全起到了积极的作用;2006年后,本国资源生产能力和企业营业利润率有所下降,抵消了劳动生产率快速上升带来的积极影响(图5)。

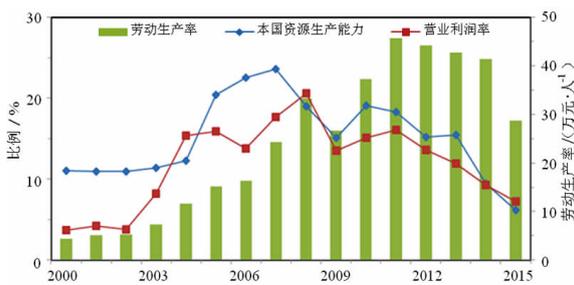


图5 中国铁矿石产业安全各评价指标变化趋势  
Fig. 5 Trends of iron ore industrial safety evaluation indexes in China

通过分析产业安全各评价指标变化趋势(图5)和产业安全绩效值(图2)可以看出,本国资源生产能力和规模以上黑色金属矿采选业营业利润率变动趋势一致,而劳动生产率与产业安全绩效值的变动趋势一致,说明劳动生产率对产业安全的影响最大。在表1中对产业安全各二级指标赋值上可以看出,劳动生产率的权重最大,这也证明了熵权法赋值的

科学性和客观性。

#### 4.5 市场安全分析

从市场安全的角度看,中国进口的铁矿石有60%以上来自于巴西和澳大利亚;铁矿石对外依存度已从2000年的33.4%不断提高到2015年的86.2%(图6)。同时,中国企业在国际铁矿市场话语权的缺失造成不断攀升的市场价格对铁矿石的安全带来巨大冲击。在这些因素的共同作用下,中国铁矿石的市场安全在2005年后下降明显,由中级安全变为中度不安全,市场安全形势不容乐观。

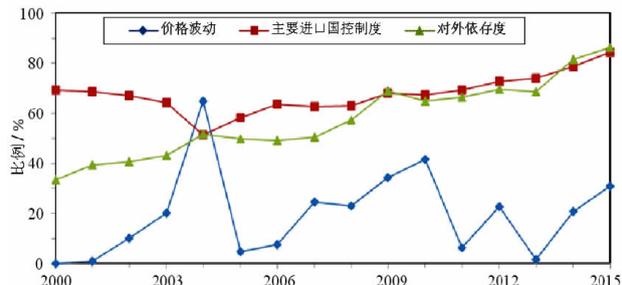


图6 中国铁矿石市场安全各评价指标变化趋势  
Fig. 6 Trends of iron ore market safety evaluation indexes in China

### 5 结论和建议

#### 5.1 结论

构建了铁矿石安全评价指标体系,并采用熵权法对2000年以来中国铁矿石安全进行评价,得到如下结论:

(1)中国铁矿石的资源安全水平持续降低。受中国铁矿资源禀赋限制,铁矿石储采比年限逐年降低,铁矿资源需求量的变化也使人均铁矿石消费量不断上升,国内铁矿石的供给满足不了消费需求,给资源安全带来压力。

(2)中国铁矿石市场安全程度快速降低。中国铁矿石进口过于集中,高的对外依存度再加上中国企业在国际市场上被动地接受铁矿石价格,对铁矿石的市场安全产生消极影响。

(3)中国铁矿石产业安全指数总体呈上升趋势,对铁矿石的安全的影响起初较小,后快速上升,这主要由于劳动生产率迅速提高的结果。

(4)2005年以前中国铁矿石环境安全程度快速降低,之后随着资源生产能源消耗水平的降低以及铁矿石采选行业能源消费结构的清洁化影响,环境

安全逐渐提升。

(5)2000年来,中国铁矿石的安全程度总体上呈波动下降的趋势有所恶化;近年来铁矿石安全指数虽然在波动中略有上升,但仍处于濒临不安全状态。

## 5.2 建议

为提高中国铁矿石的供应安全,建议加强如下几方面工作:

(1)立足本国资源,加强勘探开发和储备工作。研究结果表明,中国铁矿资源储量整体呈逐渐下降趋势,资源安全状况不容乐观。随着中国铁矿石对外依存度不断攀升以及进口成本居高不下,资源的供应形势愈发严峻。为了破解国内铁矿石供应的困局,首先应提高国内资源供应能力。具体而言,就是要充分发挥国内未占用资源的开发利用潜力,在各省之间、企业之间优化配置铁矿石资源;适度增加地质勘探投入,强化国内铁矿资源的开发力度,加强产品储备。此外,政府应加强宏观调控,从节约能源和保护环境的角度出发,淘汰铁矿资源企业的落后生产工艺,提高资源的利用水平,保持合理的资源需求规模。

(2)因地制宜,强化全球矿产资源布局。受资源禀赋的影响,中国铁矿资源生产能力在2007年后逐渐走低。因此,进行海外投资开发,充分利用海外资源是提高国内铁矿石供应的战略选择。建议加强与“丝绸之路经济带”沿线国家和地区的合作,分散海上进口通道的风险,分散进口来源过于集中的风险。此外,可以通过采用参股、购买矿权、联合开采等多种方式进入矿业发展程度较高的地区开展合作(如澳大利亚),并建立长期稳固的贸易关系,分享其“资源红利”,保障国内资源供应。

(3)节约和再生铁矿资源。本文的研究结果表明,中国的二次资源的回收利用水平较低。说明铁矿资源的综合循环利用方面还存在巨大的节约潜力。若要进一步提高中国铁矿石的安全水平,单纯依靠加强地质勘探开发力度是不够的,必须走一条铁矿资源的可持续发展道路。具体要从两方面着手:一是通过制定税收、价格、补贴等经济激励政策,鼓励资源节约技术的开发与利用,引导全社会树立正确的资源安全观。二是借鉴和吸收国外先进经验,出台鼓励和扶持铁矿资源再生利用的优惠政策,提高我国铁矿资源的循环利用水平,减少对铁矿石的需求。

(4)加强钢铁行业供给侧结构性改革。2017年10月印发的《国务院办公厅关于积极推进供应链创新与应用的指导意见》<sup>[35]</sup>为钢铁行业进一步推进供给侧结构性改革找到新的着力点和改革方向。契合国家“一带一路”倡议,寻求新机遇,通过资源整合和流程优化,加强从生产到消费各环节的有效对接,降低企业经营和交易成本,促进供需精准匹配和产业转型升级。

## 参考文献:

- [1] 钱鸣高,刘昕成. 矿山压力及其控制[M]. 北京:煤炭工业出版社,1992.
- [2] Main B W, Risk Assessment. A review of the fundamental principles[J]. Professional safety, 2004, 49(12):37-47.
- [3] Sovacool B K, Valentine S V, Bambawale M J, et al. Exploring propositions about perceptions of energy security: an international survey [J]. Environmental science & policy, 2012, 16(16):44-64.
- [4] Bambawale M J, Sovacool B K. India's energy security: a sample of business, government, civil society and university perspectives[J]. Energy policy, 2011, 39(3):1254-1264.
- [5] Sovacool B K. Seven suppositions about energy security in the United States [J]. Journal of cleaner production, 2011, 19(11):1147-1157.
- [6] Sovacool B K, Mukherjee I. Conceptualizing and measuring energy security: a synthesized approach [J]. Energy, 2011, 36(8):5343-5355.
- [7] Wu G, Liu L C, Han Z Y, et al. Climate protection and China's energy security: win-win or trade off[J]. Applied energy, 2012, 97(97):157-163.
- [8] Martchamadol J, Kumar S. Thailand's energy security indicators [J]. Renewable & sustainable energy reviews, 2012, 16(8):6103-6122.
- [9] Cohen G, Joutz F, Loungani P. Measuring energy security: trends in the diversification of oil and natural gas supplies[J]. Energy policy, 2011, 39(9):4860-4869.
- [10] Löschel A, Moslener U, Rübhelke D T G. Indicators of energy security in industrialised countries[J]. Energy policy, 2010, 38(4):1665-1671.
- [11] Coq C L, Paltseva E. Measuring the security of external energy supply in the European Union [J]. Energy policy, 2008, 37(11):4474-4481.
- [12] Cabalu H. Indicators of security of natural gas supply in Asia [J]. Energy policy, 2010, 38(1):218-225.
- [13] Sovacool B K. Assessing energy security performance in the Asia Pacific, 1990-2010[J]. Renewable & sustainable energy reviews, 2013, 17:228-247.
- [14] 张华林,刘刚. 我国石油安全评价指标体系初探[J]. 国际石油经济,2005,13(5):44-48.
- [15] 王楠. 对当前我国石油安全的评价和建议[J]. 长春大学学报,2008,18(11):1-5.
- [16] 房树琼,杨保安,余垠. 国家能源安全评价指标体系之构建

- [J]. 中国国情国力, 2008(3): 32-36.
- [17] 胡小平. 矿产资源供应安全评价[J]. 中国国土资源经济, 2005, 18(7): 6-8.
- [18] 王默玉, 魏佳, 申晓留. 基于 AHP 的北京市能源安全研究与分析[J]. 应用能源技术, 2010(9): 7-11.
- [19] 王晓宇. 中国天然气供应安全评价及对策[J]. 中国石油大学学报(社会科学版), 2015(1): 6-10.
- [20] Gul M, Guneri A F. A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique; a case study for aluminum industry[J]. Journal of loss prevention in the process industries, 2016, 40: 89-100.
- [21] Wang C, Zuo L S, Hu P J, et al. Evaluation and simulation analysis of China's copper security evolution trajectory[J]. Transactions of nonferrous metals society of China, 2013, 23(8): 2465-2474.
- [22] Hou Y B, Yang J. Application of rough fuzzy neural network in iron ore import risk early - warning [M]. Berlin Heidelberg: Advances in neural networks - ISNN 2010, 2010: 432-438.
- [23] 刘璇, 陈其慎, 张艳飞, 等. 中国铬需求预测及资源供应安全态势分析[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 933-943.
- [24] 李颖, 陈其慎, 柳群义, 等. 中国海外矿产资源供应安全评价与形势分析[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 900-907.
- [25] 代涛, 沈镭. 我国大宗性矿产资源安全分析与评价[J]. 矿业研究与开发, 2009, 29(5): 97-101.
- [26] 永学艳, 陈建宏. 基于 AHP 的矿产资源安全评价研究[J]. 有色冶金设计与研究, 2010, 31(5): 1-4.
- [27] 孙永波, 汪云甲. 矿产资源安全评价指标体系与方法研究[J]. 中国矿业, 2005, 14(4): 36-37.
- [28] 赵振智, 刘宏江. 基于模糊综合分析法的我国石油储备安全评价体系探析[J]. 价值工程, 2012, 31(28): 95-96.
- [29] 刘贤信. 基于 SPSS 的我国铁矿石供应安全评价[J]. 金属矿山, 2010, 39(10): 34-37.
- [30] 范凤岩, 刘冲昊, 柳群义. 海外矿产资源投资优选评价[J]. 矿产保护与利用, 2018(1): 17-23.
- [31] 俞立平, 张晓东. 基于熵权 TOPSIS 的地区高校科技竞争力评价研究[J]. 情报杂志, 2013(11): 181-186.
- [32] 束月月, 盖美, 耿雅冬. 基于可变模糊识别模型的辽宁省水资源安全评价研究[J]. 资源开发与市场, 2013, 29(1): 20-23.
- [33] 范振林. 中国铁矿资源保障程度研究[J]. 矿业研究与开发, 2013(6): 124-126.
- [34] Liu C H, Liu Q Y, Li J W, et al. China's belt and road initiative in support of the resourcing future generations program [J]. Natural resources research, 2018, 27(2): 257-274.
- [35] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于积极推进供应链创新与应用的指导意见[EB/OL]. (2017-10-13) [2018-02-21]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-10/13/content\\_5231524.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-10/13/content_5231524.htm).

引用格式: 刘冲昊, 柳群义. 基于熵权法的中国铁矿石安全评价[J]. 矿产保护与利用, 2018(5): 86-93.

LIU Chonghao, LIU Qunyi. Safety evaluation of iron ore in China based on entropy weight method[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2018(5): 86-93.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)

(上接第 85 页)

动过程中不断优化升级, 也为矿业转型升级提出了新要求。中国矿业在推进供给侧结构性改革过程中, 行业集中度得以提高, 产业结构得以改良, 整体发展势头良好。与此同时, 矿业发展出现的新情况新问题也需要及时加以重视, 并结合国内外两个资源市场的发展动态, 提出有针对性的矿业发展改革建议。

## 参考文献:

- [1] 国际货币基金组织. 世界经济展望[EB/OL]. (2018-04-13)

[2018-07-05]. <http://www.imf.org/zh/Publications/WEO/Issues/2018/03/20/world-economic-outlook-april-2018>.

- [2] 国家统计局. 综合 PMI 产出指数[EB/OL]. [2018-07-05]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=A01>.
- [3] 铁矿网. 铁矿石价格指数[EB/OL]. [2018-07-05]. <http://www.tiekuangshi.com/data/ciopi.htm>.
- [4] 余良晖, 马苗卉, 苏轶娜, 等. 2016 年中国矿业市场变化分析与 2017 年展望[J]. 中国国土资源经济, 2017(1): 28-34.
- [5] 余良晖, 苏轶娜, 冯丹丹. 从去产能视角观察中国矿产品贸易优化策略[J]. 矿产保护与利用, 2018(2): 12-16.
- [6] 苏轶娜, 李雪梅. 推进我国参与“一带一路”油气合作核心区建设研究[J]. 经济纵横, 2017(9): 89-98.

引用格式: 苏轶娜. 2018 年矿产资源形势分析与展望[J]. 矿产保护与利用, 2018(5): 79-85, 93.

SU Yina. Analysis and prospect of mineral resources situation in 2018[J]. Conservation and utilization of mineral resources, 2018(5): 79-85, 93.

投稿网址: <http://kcbh.cbpt.cnki.net>

E-mail: [kcbh@chinajournal.net.cn](mailto:kcbh@chinajournal.net.cn)