

引用格式: 马玉芳, 沙景华, 闫晶晶, 等. 中国镍资源供应安全评价与对策研究[J]. 资源科学, 2019, 41(7): 1317-1328. [Ma Y F, Sha J H, Yan J J, et al. Safety assessment and countermeasures of nickel resource supply in China[J]. Resources Science, 2019, 41(7): 1317-1328.] DOI: 10.18402/resci.2019.07.12

中国镍资源供应安全评价与对策研究

马玉芳¹, 沙景华¹, 闫晶晶¹, 刘全文¹, 范松梅², 何更宇¹, 周平³

(1. 中国地质大学(北京)经济管理学院, 北京 100083;

2. 北京体育大学体育商学院, 北京 100084;

3. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘要: 镍是中国紧缺的矿产资源。近年来, 由于镍在不锈钢、新能源电池中的大量使用, 中国镍资源面临严峻的供应形势。为深入研究中国镍资源的供应安全问题, 本文从镍资源存量状况、资源供需状况、资源开发状况、国际产销状况、国际市场价格状况5个维度构建中国镍资源供应安全评价指标体系, 首先运用熵值法计算2000—2016年中国镍资源各年的供应安全综合得分, 然后运用雷达法分析影响2016年中国镍资源供应安全的主要因素。结果显示: 2000—2016年中国镍资源供应安全综合得分持续下降, 供应风险不断增加; 储量下降、消费量增加、地质勘查投入减少、对国外资源依赖较大、主要进口国政策变化较大等因素是影响中国镍资源供应安全的主要因素。根据评价结果, 本文提出以下安全对策: 加大镍矿勘探投入, 提高镍资源开发水平; 提高二次回收率, 加强不锈钢领域节镍技术研发; 开拓国外镍矿资源市场。这些措施将有助于提高中国镍资源的供应安全保障水平。

关键词: 镍资源; 供应安全; 熵值法; 雷达法; 安全对策; 中国

DOI: 10.18402/resci.2019.07.12

1 引言

镍是一种重要的矿产资源, 在地壳中的含量仅为0.018%^[1]。镍质坚硬, 延展性好, 且耐高温、抗腐蚀、磁性强, 在钢铁、镍基合金、电镀及电池等领域应用广泛。镍资源在中国不锈钢、电镀、合金铸造和电池等领域的消费占比分别为85%、6%、5%和4%^[2]。不锈钢是镍资源的主要消费领域, 300系不锈钢在不锈钢生产中占比高达70%^[3], 其镍含量高达8%左右。虽然目前不锈钢产量呈低速小幅增长态势, 但需求总量进入峰值平台期, 对镍资源需求依然保持较高水平^[3], 故不锈钢领域的镍资源消费量仍较大。此外, 随着中国新能源汽车产业快速发展, 镍作为生产可充电电池的主要原料之一, 其在新能源汽车电池中的消费正快速增加^[4]。由于镍资

源在国民经济中的重要作用, 中国在2016年发布的《全国矿产资源规划(2016—2020年)》中, 将镍列入到战略性矿产目录中, 作为重点对象来加强监测预警^[5]。受资源禀赋约束, 目前镍资源的国内供应量严重不足, 供需关系严重失衡。因此, 对镍资源供应安全的研究具有现实的必要性和迫切性。

矿产资源供应安全评价是指通过分析影响资源供应安全的因素、遴选资源供应安全评价指标、构建资源供应安全指标体系, 以此科学地评价矿产资源的供应安全^[6,7]。近年来, 随着矿产资源在国民经济中的基础性地位日益凸显, 有关矿产资源供应安全的研究也逐渐增多, 如铬资源^[8]、铁矿石^[9]、钴资源^[10]、铜资源^[11]等, 但有关镍资源供应安全的研究较少。已有研究主要有以下两方面: ①通过分析镍资

收稿日期: 2018-06-06 修订日期: 2018-11-12

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20160087); 中央高校基本科研基金项目(2652017029)。

作者简介: 马玉芳, 女, 河北唐山人, 博士生, 主要从事资源环境经济和产业经济研究。E-mail: mayufang0035@163.com

通讯作者: 沙景华, 女, 北京人, 教授, 主要从事资源环境经济和产业经济研究。E-mail: shajinghua@163.com

源的分布状况、供需状况和利用情况,提出缓解镍资源供应紧张的一些举措。如张佳东^[12]分析了中国镍资源的供需状况,认为中国镍资源消费量迅速增加、储量增长缓慢、镍资源的二次回收还处于起步阶段,这将导致严重的供需缺口;周京英等^[13]通过研究中国镍资源供需形势、资源分布状况及主要国家的产销态势,提出中国镍资源配置应遵从多渠道、多品种的方式,即将国内生产和国外进口相结合,将原料级产品进口和消费级产品进口相结合。②通过物质流分析,从镍产业链的角度来探讨如何通过资源在时空上的优化配置(开采-冶炼-加工-使用-回收),以此保证镍资源的供应。如Huang等^[14]对2009年中国大陆的镍资源进行了物质流分析,认为可通过提高开采和冶炼效率、改善加工工艺、扩大对含镍废旧资源的利用等措施来促进中国镍资源供应的可持续性;Zeng等^[15]研究了中国镍物质流动的演化过程,认为中国不仅要寻找更多的进口镍矿资源,而且应在循环经济领域加强对镍资源的开发,才能够满足不断增长的需求。国外一些学者也从镍资源的分布^[16]、供需^[17]、资源配置^[18]等角度进行了深入研究。已有研究主要侧重于对资源的分布、供需和配置等影响因素的分析,但仍有一些影响因素并没有被考虑进来,如价格变动、地缘政治风险、市场集中度和地质勘查投入等。总体而言,镍资源的供应安全尚待深入研究。

目前,学者所使用的矿产资源供应安全综合评价方法主要有层次分析法^[19]、综合评价法^[20]、聚类分析法^[21]、压力-状态-响应模型^[22]等。熵值法与上述方法相比,能利用历史数据的内部关系对评价指标进行客观赋权,避免层次分析法等方法主观性强的缺陷,从而尽可能保证评价的客观性^[23-25]。目前,熵值法在社会经济领域应用广泛^[26],在矿产资源保障度评价和可持续发展评价上也有应用^[27,28],因此可认为该方法适用于镍资源供应安全总体状况评价。

雷达法是德国联邦地球科学和自然资源研究所(BGR)与德国大众汽车(VW)制定的一种识别和评估矿物原料长期供给风险的方法,由时间序列分析和数值评价模型2个部分组成^[29]。雷达法能够直观形象地显示出某一紧缺矿产存在的主要风险点

及风险程度大小,并且不需要繁琐的计算过程,方便快捷,适用于紧缺性矿种及大宗矿产的供应风险评价,目前在铁矿石^[30]、钴资源^[31]、锂资源^[32]等矿产资源的供应风险评价中实践效果较好。雷达法可用于识别镍资源的主要供应风险点。

基于以上,本文构建了包括镍资源存量状况、资源供需状况、资源开发状况、国际产销状况、国际市场价格状况等5个维度的中国镍资源供应安全评价指标体系,采用熵值法评价2000—2016年供应安全变化情况,运用雷达法找出影响当前供应安全的主要因素,并提出针对性的对策建议,以期保障镍资源的稳定、足量、及时、经济供应,从而满足社会经济发展对其的需求。

2 指标体系、评价方法及数据来源

2.1 指标体系

中国发展已进入新时代,未来资源利用的重点方向为建立完善的全球资源治理体系,内外兼施地保障资源供给和需求安全^[33]。本文将着眼于国内和国际,从国内资源供应安全和国外资源供应安全2个安全源来构建指标体系。针对中国镍资源供需缺口大、进口来源国单一、地质勘探有待加强、国际市场状况不容乐观等特点^[34],并参考陈甲斌^[35]、芦琳娜等^[36]的研究,选取中国镍资源的供应安全评价指标^[37]。具体来说,本文的国内资源供应安全中设定资源存量状况、资源供需状况、资源开发状况3个安全类别,国外资源供应安全中设定国际产销状况和国际市场价格状况2个安全类别,每个安全类别包括1个或多个安全指标,安全指标共计8个。表1为本文的指标体系及各指标的计算公式,熵值法和雷达法均基于此指标体系进行计算。

2.2 评价方法

2.2.1 熵值法原理及计算步骤

熵起初是热力学中表征物质状态的概念,在物理意义中表示的是度量体系的混乱程度。在信息论中,熵用来度量系统的混乱程度,信息熵值与评价指标值的变异程度呈正向关系,即熵值越大,指标在评价体系中的作用越大^[38]。

在评价2000—2016年中国镍资源供应安全状况中,评价体系由 $m(m=17)$ 个时间样本、 $n(n=8)$ 个

表1 中国镍资源供应安全评价指标体系

Table 1 Evaluation index system for nickel resources supply safety in China

安全源	安全类别	安全指标	计算公式
国内资源 供应安全	资源存量 状况	储量占世界总储量的比重	中国储量/世界储量
		储消比	查明资源储量/消费量
	资源供需 状况	消费量占世界总消费量的比重	中国消费量/世界消费量
		对外依存度	中国镍矿砂及精矿净进口量/中国镍资源消费量
国外资源 供应安全	资源开发 状况	地质勘查投入增长率	(当期地质勘查投入-前期地质勘查投入)/当期地质勘查投入
		进口国风险	$\sum(\text{前十大中国镍矿砂及精矿进口国各国进口量/进口总量})^2 \times \text{对应国家的风险指数}$
	国际产销 状况	生产国集中度	$\sum(\text{前四大矿山镍生产国各国产量/世界矿山镍产量})^2$
		国际市场价格波动率	$[(\text{当期伦敦金属交易所(LME)镍年均价格}-\text{前期LME镍年均价格})/\text{当期LME镍年均价格}]$

指标构成。用熵值法计算各年中国镍资源供应安全综合水平,可分为以下6个步骤^[39]:

(1)数据标准化处理。运用极差标准化方法^[40]进行数据标准化:

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \min(y_{ij})}{\max(y_{ij}) - \min(y_{ij})} \quad (\text{正向指标}) \quad (1)$$

$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$

$$x_{ij} = \frac{\max(y_{ij}) - y_{ij}}{\max(y_{ij}) - \min(y_{ij})} \quad (\text{负向指标}) \quad (2)$$

式中: y_{ij} 表示第*i*年第*j*项评价指标值, x_{ij} 表示第*i*年第*j*项评价指标标准化后的值,min表示最小值,max表示最大值。

(2)计算第*j*项评价指标下第*i*年的占比 p_{ij} :

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (0 \leq p_{ij} \leq 1) \quad (3)$$

(3)计算第*j*项评价指标信息熵值 e_j :

$$e_j = -k \times \sum_{i=1}^m p_{ij} \times \ln p_{ij} \quad (4)$$

式中: k 为常数, $k = 1/\ln m$ 。

(4)计算第*j*项评价指标信息效用值 d_j :

$$d_j = 1 - e_j \quad (5)$$

指标的信息效用值越大,对综合评价就越重要,评价指标的权重也就越大。

(5)计算第*j*项评价指标的权重 w_j :

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (6)$$

(6)计算各年份综合得分 v_j :

$$v_j = \sum_{j=1}^n w_j \times p_{ij} \quad (7)$$

2.2.2 雷达法原理

通过对中国镍资源在过去较长一段时间(2000—2016年)供应状况的深入了解,得出每个评价指标在市场紧张和宽松形势下的参照值,然后把该参照值作为区间的上下限,将区间划分为以下3个风险状态和9个等级:“宽松”(1~3级),“适度”(4~6级),“紧张”(7~9级)。评级越高,供应风险越大,安全状况越差。将当前年份(由于数据统计的滞后性,本文假设当前年份为2016年)各指标数据与上述划分标准进行对照,即可参考历史趋势,确定当前年份所处的风险状态和风险等级。最后,将当前年份所有指标的评价结果呈现在雷达图上,就可直观形象地展示存在的主要风险点及风险程度。

2.3 数据来源

指标体系中涉及的数据来源为:部分储量来源于《中国统计年鉴》^[41],部分储量、消费量、地质勘查投入来源于《中国矿产资源年报》^[42],部分储量来源于《中国矿产资源报告》^[43],部分消费量来源于《世界金属统计年鉴》^[44],进出口量来源于联合国商品贸易统计数据库^[45],国家风险指数来源于世界银行^[46],世界各国产量、储量来源于美国地质调查局公布的《矿产品概要》^[47],部分消费量来源于CRU^[48],价格来源于伦敦金属交易所(London Metal Exchange)^[49]。

3 中国镍资源供应安全评价结果与分析

3.1 供应安全综合评价

表2为根据极差标准化方法将原始数据标准化

表2 2000—2016年中国镍资源供应安全评价指标标准化

Table 2 Standardization of nickel resources supply safety evaluation indicators in China, 2000-2016

年份	储量占世界总储量的比重	储消比	消费量占世界总消费量的比重	对外依存度	地质勘查投入增长率	进口国风险	生产国集中度	国际市场价格波动率
2000	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	0.25	0.36
2001	0.90	0.63	0.95	0.66	1.00	0.98	0.00	0.56
2002	0.05	0.63	0.96	0.63	0.09	0.90	0.13	0.85
2003	0.05	0.37	0.88	0.45	0.08	0.95	0.27	0.38
2004	0.05	0.31	0.87	0.61	0.89	0.82	0.34	0.35
2005	0.04	0.22	0.80	0.37	1.00	0.68	0.42	0.98
2006	0.02	0.18	0.75	0.36	0.75	0.10	0.53	0.00
2007	0.00	0.11	0.61	0.12	0.68	0.56	0.61	0.19
2008	0.00	0.10	0.59	0.18	0.35	0.51	0.42	0.36
2009	0.50	0.04	0.24	0.09	0.26	0.50	0.63	0.57
2010	0.46	0.07	0.41	0.08	0.30	0.48	0.76	0.27
2011	0.51	0.02	0.25	0.02	0.27	0.48	0.75	1.00
2012	0.52	0.01	0.17	0.03	0.26	0.49	0.77	0.69
2013	0.45	0.00	0.08	0.07	0.26	0.49	0.72	0.84
2014	0.47	0.02	0.19	0.00	0.26	0.37	0.74	0.88
2015	0.34	0.01	0.09	0.04	0.08	0.00	0.81	0.60
2016	0.49	0.00	0.00	0.08	0.13	0.01	1.00	0.76

的结果。再根据熵值法的计算原理,求得中国镍矿资源供应安全评价指标权重(表3)。计算结果显示镍矿安全评价指标储消比、对外依存度、储量占世界总储量的比重和地质勘查投入增长率权重较大,分别为25.1%、18.0%、16.5%和12.2%;其余4个安全指标:消费量占世界总消费量的比重、进口国风险、生产国集中度和国际市场价格波动率权重较小,分别为9.6%、7.5%、5.6%和5.5%。

根据表2和表3可得到2000—2016年中国镍资源供应安全的综合得分(图1)。图1显示,2000—

2016年中国镍资源供应安全综合得分呈下降趋势,说明中国镍资源供应风险在不断上升,而且当前供应风险处于历史较高水平。具体来说,2000—2008年供应风险上升较快,这是因为在这一时期中国经济快速增长,对镍需求快速增加,而国内镍资源供应有限,导致供需缺口不断增大,从而使镍资源供应风险快速上升;2009年以后,综合得分变化较为平稳,这与中国经济在这一段时间增速放缓有关。下文将运用雷达法具体分析当前影响中国镍资源

表3 中国镍矿资源供应安全评价指标权重

Table 3 Weights of indicators of nickel resources supply safety in China

安全指标	权重/%
储量占世界总储量的比重	16.5
储消比	25.1
消费量占世界总消费量的比重	9.6
对外依存度	18.0
地质勘查投入增长率	12.2
进口国风险	7.5
生产国集中度	5.6
国际市场价格波动率	5.5

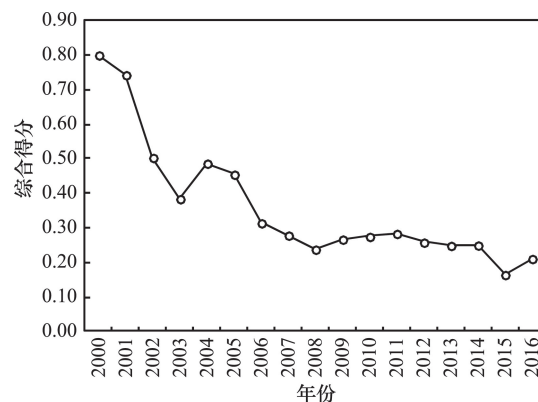


图1 2000—2016年中国镍资源供应安全的综合得分

Figure 1 Evaluation index scores of China's nickel resources supply safety, 2000-2016

2019年7月

供应安全的主要风险点及其风险程度。

3.2 供应安全分项评价

3.2.1 资源存量状况

(1) 储量占世界总储量的比重。如图2所示, 2000—2016年世界镍矿资源储量稳中略有上升, 2016年全球约为7200万t, 比2000年增加了30%。与全球储量相反, 2000—2016年中国镍矿资源储量越来越少, 2000年储量约有370万t, 2008年仅约有110万t; 随着勘探技术的进步, 储量有所回升, 但2016年也仅有2000年的67.6%, 约为250万t。2000年, 中国镍矿储量占世界储量的比重约为6.4%; 2002年以后出现大幅下滑, 比重仅有1.8%; 虽然从2009年以后, 比重有所回升, 但也仅占世界储量的3%~4%。按照雷达法评价原理, 以历史数据作参考来划分风险状态和风险等级, 根据2000—2016年中国镍资源储量占世界储量的比重, 划分出3种风险状态: 2000—2001年中国镍资源储量占比的风险状态为“宽松”, 2002—2008年为“紧张”, 2009—2016年为“适度”。其中, 2016年中国储量占世界储量的比重为3.9%, 可认为风险“适度”, 风险等级为5级。

(2) 储消比。如图3所示, 2000—2016年中国镍资源的查明资源储量(基础储量+资源量)约为800~1000万t(金属量), 呈小幅增长的状态。然而, 2000—2016年中国精炼镍消费量却呈快速上升趋势, 从2000年的5.8万t增长至2016年的106.3万t, 年均增长率高达20%。消费量的快速增加导致

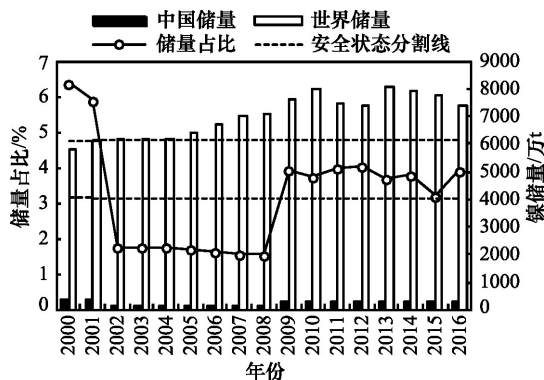


图2 2000—2016年中国、世界镍资源储量及中国储量占世界储量的比重

Figure 2 China's and global nickel reserves and the ratio of China's reserves to the global amount, 2000-2016

数据来源:《矿产品概要》^[47]。

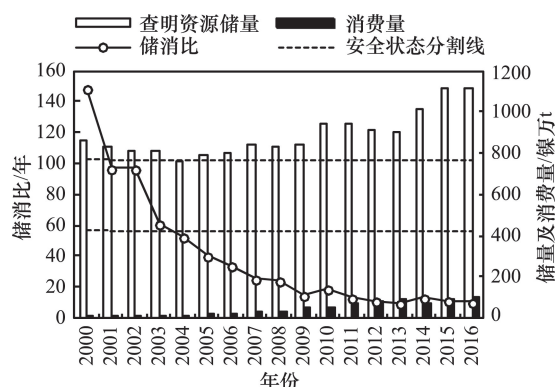


图3 2000—2016年中国镍资源储量、消费量及储消比

Figure 3 Reserve, consumption and reserve-consumption ratio changes of China's nickel resources, 2000-2016

数据来源:《中国矿产资源年报》^[42]、《中国矿产资源报告》^[43]、《世界金属统计年鉴》^[44]。

2000—2016年中国镍资源储消比呈快速下降趋势。储消比反映了在外界资源供应中断的情况下, 国内资源的可支撑程度。该指标越小, 供应风险越大。根据2000—2016年中国镍资源储消比的历史数据: 2000年镍资源储消比风险状态为“宽松”, 2001—2003年为“适度”, 2004—2016年为“紧张”。其中, 2016年中国镍资源储消比仅有11年, 处于极度“紧张”的风险状态, 风险等级评为9级。

3.2.2 资源供需状况

(1) 消费量占世界总消费量的比重。如图4所示, 2000—2016年世界精炼镍消费量缓慢增加, 年均增长率为3%; 而中国精炼镍消费量快速增加, 年

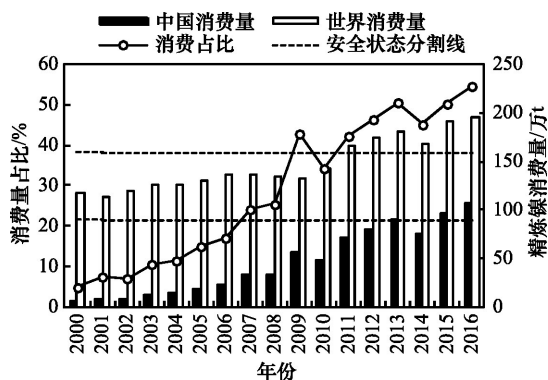


图4 2000—2016年中国、世界精炼镍消费量及中国消费量占世界消费量的比重

Figure 4 China's and global refined nickel consumptions and the ratio of China's consumption to the global amount, 2000-2016

数据来源:《世界金属统计年鉴》^[44]、CRU^[48]。

均增长率高达20%。因此,2000—2016年中国精炼镍消费量占世界消费量的比重不断上升,年均增长率高达16.3%。镍作为中国的紧缺矿种,大部分消费依赖进口,因此中国消费量在世界总消费量中的占比越高,资源供应风险就越大。根据2000—2016年中国精炼镍消费量占世界消费量比重的历史数据:2000—2006年中国精炼镍消费量占比的风险状态为“宽松”,2007、2008和2010年为“适度”,2009年、2011—2016年为“紧张”。其中,2016年中国精炼镍消费量占世界消费量的比重为55%,达到历史最高值,处于“紧张”风险状态,风险等级评为9级。

(2)对外依存度。如图5所示,2000—2007年中国镍资源对外依存度快速上升,从不到10%上升到80%以上,国内资源仅能满足不到20%的消费需求。参考2000—2016年中国镍资源对外依存度的历史数据:2000年镍资源对外依存度的风险状态为“宽松”,2001—2006年为“适度”,2007—2016年为“紧张”。其中,2016年中国镍资源对外依存度为83%,处于“紧张”风险状态,风险等级评为9级。

3.2.3 资源开发状况

地质勘查投入增长率指标能够反映资源开发状况。地质勘查投入越多并且逐年持续增加,则探明资源量可能也就越多。如图6所示,2000—2005年,中国镍矿资源地质勘查经费均不到1000万元,且经费投入波动幅度较大,这对找矿工作的持续开展产生了较大的影响。2006—2014年地质勘查经费出现大幅上升,年均增长率高达30%以上。然而,2015

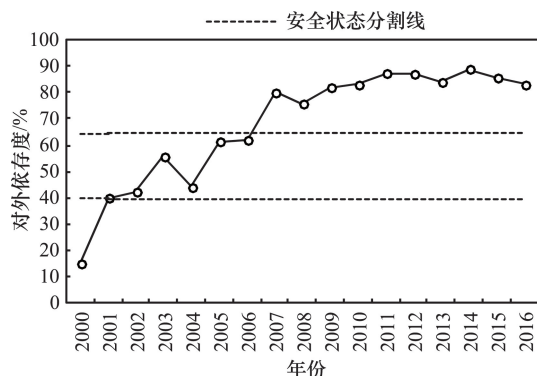


图5 2000—2016年中国镍资源对外依存度

Figure 5 External dependence degree of nickel resources in China, 2000-2016

数据来源:《中国矿产资源年报》^[42]、联合国商品贸易统计数据库^[45]。

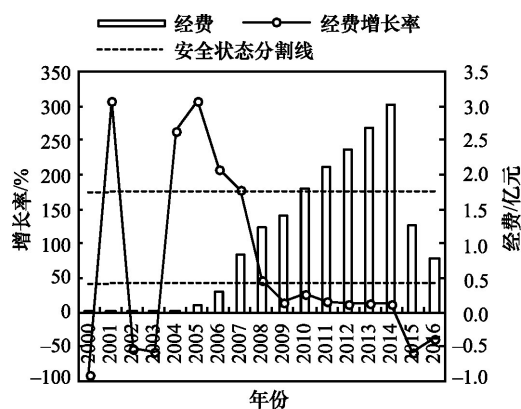


图6 2000—2016年中国镍矿资源地质勘查经费增长率

Figure 6 Funds for geological survey of nickel resources and their growth rates in China, 2000-2016

数据来源:《中国矿产资源年报》^[42]、《中国矿产资源报告》^[43]。

年以后地质勘查经费投入出现大幅下滑,2015年仅为2014年的45%。根据2000—2016年中国镍资源地质勘查经费增长率历史数据:2000年、2002—2003年、2019—2016年镍资源地质勘查经费增长率的风险状态为“紧张”,2007—2008年为“适度”,2001年、2004—2006年为“宽松”。其中,2016年中国镍资源地质勘查经费增长率为-38%,处于“紧张”风险状态,风险等级评为8级。

3.2.4 国际产销状况

(1)进口国风险。2000年以来中国镍矿砂及精矿的进口国变化情况主要可分为2个阶段:第1个阶段为2000—2004年,澳大利亚与比利时交替为中国镍矿砂及精矿第一大进口国,且第一大进口国的进口量占总进口量的份额呈上升趋势,从2000年的30%上升至2004年的66%;第2个阶段为2005—2016年,菲律宾与印度尼西亚交替成为据中国镍矿砂及精矿第一进口国,且在多数年份里第一大进口国的进口量占比达到50%~60%。2014年后中国从菲律宾进口的镍矿砂及精矿占比超过70%,2015年以后甚至超过90%。如图7所示,根据2000—2016年中国镍矿资源前十大进口国加权进口国国家风险指数,将其风险状态划分为:2000—2005年的风险状态为“宽松”,2006年、2015—2016年为“紧张”,2007—2014年为“适度”。其中,2016年中国镍资源进口国风险为5.55,处于“紧张”风险状态,风险等级评为9级。

2019年7月

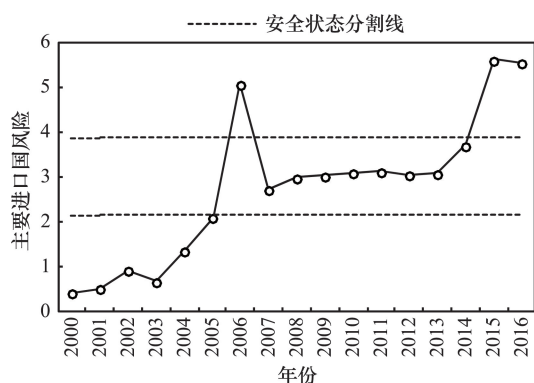


图7 2000—2016年中国镍资源进口国风险

Figure 7 Risk from importers of nickel resources in China, 2000-2016

数据来源:联合国商品贸易统计数据库^[45]、世界银行^[46]。

(2)生产国集中度。2000—2009年世界前四大生产国主要为俄罗斯、加拿大、澳大利亚及印度尼西亚。2010—2016年菲律宾镍矿山产量增长,主要生产国为菲律宾、印度尼西亚、俄罗斯、澳大利亚及加拿大。2000—2016年矿山镍前四大生产国占世界总产量的份额总体呈下降趋势,2001年为集中度最大值1106,2016年为最小值613。借鉴美国司法部和联邦贸易委员会制定的标准,根据中国实际情况进行了调整,制定了新的风险状态划分标准。如图8所示,根据新标准2000—2002年,处于“紧张”风险状态;2003—2006年和2008年,处于“中等”风险状态;2007年、2009—2016年,处于“宽松”风险状态。其中,2016年生产国集中度处于“宽松”风险状态,风险等级可评为2级。

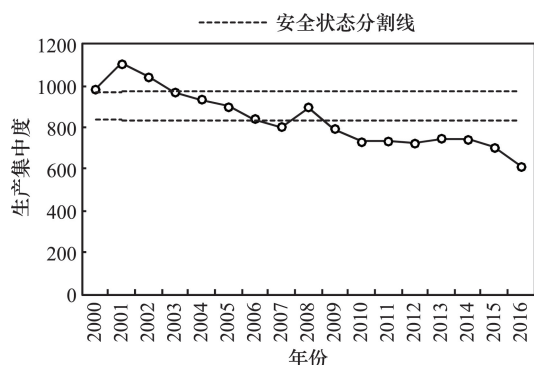


图8 2000—2016年中国镍资源生产国集中度

Figure 8 Concentration of producing countries of nickel resources in China, 2000-2016

数据来源:《矿产品概要》^[47]。

3.2.5 国际市场价格状况(3级,宽松)

国际市场价格波动采用LME镍年均价格波动率的绝对值反映。如图9所示,2000—2007年LME镍年均价整体呈上升趋势,年均增速达到23%,2007年均价达3.72万美元/t,为近16年间的峰值。2008—2011年受世界金融危机和危机后经济复苏影响,LME镍年均价呈先下降后回升的状态,2011年后大体呈下降状态,2016年达到2004年以来最低点9650美元/t,与2007年最高价相比,价格降幅达到75%。参考2000—2016年国际市场LME镍年均价格波动率绝对值历史走势图,将其风险状态划分为:2002年、2005年、2011—2014年、2016年的风险状态为“宽松”,2003—2004年、2008—2009年、2015年为“紧张”,2007—2014年为“适度”。2016年LME镍年均价格波动率绝对值为20%,处于“宽松”风险状态,风险等级可评为3级。

3.2.6 雷达法综合评价

图10为雷达法评价结果,镍矿资源存量状况评为7级,资源供需状况评为9级,资源开发状况评为8级,国际产销状况评为6级,国际市场价格状况评为3级。因此,影响2016年中国镍资源供应安全的主要因素为资源供需状况、资源开发状况和资源存量状况,国际产销状况也不容乐观,而国际市场价格状况则比较稳定。上述影响镍资源供应安全的因素与前人研究大体一致^[50-53],主要供应风险点及其风险程度的准确识别有助于提出针对性的对策建议。

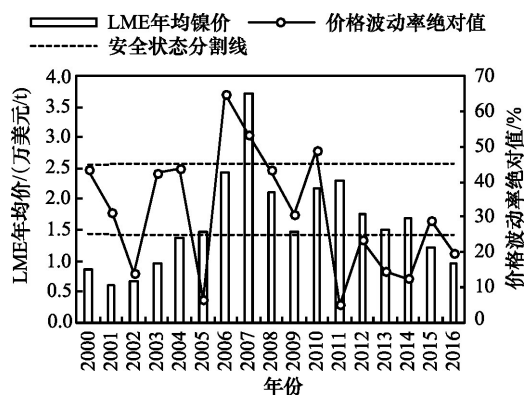


图9 2000—2016年国际市场LME镍年均价格波动率绝对值

Figure 9 Annual average price of London Metal Exchange (LME) nickel and absolute values of its change rate, 2000-2016

数据来源:《中国矿产资源年报》^[42]、伦敦金属交易所^[49]。

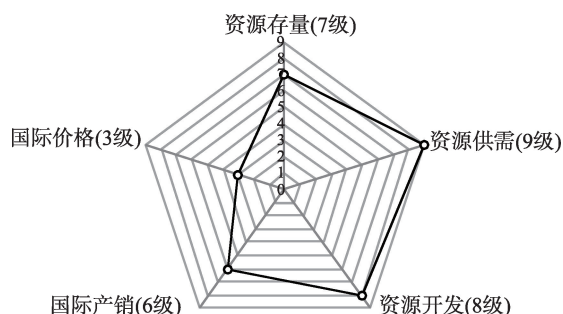


图10 2016年中国镍资源供应安全状况雷达图

Figure 10 Radar chart of the supply security assessment on China's nickel resources, 2016

4 结论与对策建议

4.1 结论

本文构建了包括镍资源存量状况、资源供需状况、资源开发状况、国际产销状况、国际市场价格状况5个维度的中国镍资源供应安全评价指标体系,采用熵值法评价2000—2016年供应安全变化情况,运用雷达法找出影响当前供应安全的主要因素。这2种方法从不同角度、不同时间维度评价中国镍资源供应安全状况,对比2种评价结果,可知中国镍资源供应安全状况不管在总体水平上、还是在各分项状态上均存在较大风险。由熵值法评价结果可知,2000—2016年中国镍资源供应安全态势不断恶化,由2000年的0.8分下降到2016年的0.21分,下降了74%;由雷达法评价结果可知,中国镍资源供应安全面临储量占世界储量的比重下降、地质勘查投入增长率下降、储消比减小、消费量占世界总消费量的比重上升、对外依存度快速上升、进口风险增加、生产国集中度提高、国际市场价格不稳定等多方面问题。

4.2 对策建议

针对上述影响中国镍资源供应安全的主要影响因素,本文从以下3个方面提出提高中国镍资源供应安全的政策建议。

(1)加大镍矿的地质勘探投入,提高开发水平。为改善中国镍资源的储量及供需的状况,应以政府和企业的相关勘探开发部门为主体,加大勘探投入。中国作为全球镍资源第一大消费国,国内镍资源供需缺口很大,与镍矿资源储量的勘探程度及开发水平不高直接相关。近几年,中国镍资源的勘

查投入有所降低,政府应及时作出适当调整,确保镍资源勘查的经费需求。同时还应提高开发水平,提高低品位镍矿资源的利用水平。通过加大勘探投入及提高开发水平,不仅有助于增加镍资源储量及国内镍资源供应量,提升中国镍资源在世界占比,而且有利于提高储消比和降低对外依存度,从而提升中国镍资源供应的安全程度。

(2)完善镍资源的储备、生产、回收机制。目前中国矿产品的储备管理呈分割状态,中国企业的镍资源储备多以营利为目的。因此政府应积极引导,效仿美国以国家为主体的储备机制、日本的国家和民间组织相结合的储备机制,鼓励企业立足长远,增强镍资源产品、产能、产地的联动性,建立完善的储备机制,以缓解中国镍资源的紧缺状态,保障镍资源持续供应。

为改善镍资源的供需状况,也可对国家科研机构及不锈钢企业技术研发部门,通过设立技术创新奖鼓励不锈钢生产过程中的节镍技术研发。因为不锈钢是中国镍资源消费的主要领域(2016年在消费结构中的占比高达84%),未来不锈钢行业仍将呈现高需求特点,因此研发新型节镍不锈钢对缓解中国镍资源供需紧张局面有一定作用。

目前,美国、日本等国家镍资源回收流程及技术成熟,拥有较高回收利用率,但中国镍资源回收流程及技术欠缺,回收量较小。为此中国应建立健全镍资源回收体系,从企业生产源头抓起,重点做好不锈钢和电池等镍资源的二次回收工作,同时重点关注矿物重构过程下的矿相转变研究^[54],进而提高镍资源的回收利用率,以扩大国内镍资源的供应渠道,改善供需状况,降低对外依存度。

(3)开拓国外镍资源市场,分散中国镍资源进口源。本文评价结果表明,中国镍资源的进口集中度高,主要进口国镍资源政策的变化会对中国镍供应安全产生较大影响。为改善这一状况,建议以主管矿产资源的政府部门及从事镍矿开发的企业为主体,大力开拓国外镍资源市场,分散中国镍资源进口源。为此,要利用共建“一带一路”的战略机遇,秉持互利、合作、共赢原则,一方面加强同菲律宾、印度尼西亚、俄罗斯、澳大利亚及加拿大等镍资

2019年7月

源生产大国的合作开发;另一方面,要探索与镍资源丰富且开发程度低的非洲、拉美等国家和地区的合作勘探与开发,以分散中国镍资源进口源,降低进口国集中度,达到安全供应的目的。

参考文献(References)

- [1] 金属百科. 镍矿资源储量分布及产量情况[EB/OL]. (2018-05-25) [2018-06-06]. <http://baike.asianmetal.cn/metal/ni/resources&production.shtml>. [Metal Encyclopedia. Reserve Distribution and Yield of Nickel Mine Resources[EB/OL]. (2018-05-25) [2018-06-06]. <http://baike.asianmetal.cn/metal/ni/resources&production.shtml>.]
- [2] 矿业澳洲. 全球镍市场与中国镍市场当前分析的二十二张图[EB/OL]. (2017-11-08) [2018-05-25]. http://www.sohu.com/a/203133504_799830. [Australian Mines. Twenty-two Charts of Current Analysis of Global and China's Nickel Market[EB/OL]. (2017-11-08) [2018-05-25]. http://www.sohu.com/a/203133504_799830.]
- [3] 中国有色网. 2017年镍市场供需平衡分析[EB/OL]. (2017-11-15) [2018-05-25]. <http://www.cnmm.com.cn/ShowNews1.aspx?id=382542>. [China Nonferrous Metal Network. Analysis of the Balance between Supply and Demand of Nickel Market in 2017[EB/OL]. (2017-11-15) [2018-05-25]. <http://www.cnmm.com.cn/ShowNews1.aspx?id=382542>.]
- [4] 能源新闻. 中国新能源汽车保有量全球占比超50%[EB/OL]. (2018-04-19) [2018-05-25]. <http://www.in-en.com/article/html/energy-2267550.shtml>. [Energy News. The Total Number of New Energy Vehicles in China is over 50% [EB/OL]. (2018-04-19) [2018-05-25]. <http://www.in-en.com/article/html/energy-2267550.shtml>.]
- [5] 中华人民共和国自然资源部. 全国矿产资源规划(2016-2020年)[EB/OL]. (2016-11-15) [2018-05-25]. http://www.mlr.gov.cn/zwgk/ghjh/201612/t20161205_1423357.htm. [Ministry of Natural Resources of China. National Mineral Resources Planning (2016-2020 Years)[EB/OL]. (2016-11-15) [2018-05-25]. http://www.mlr.gov.cn/zwgk/ghjh/201612/t20161205_1423357.htm.]
- [6] 胡小平. 矿产资源供应安全评价[J]. 中国国土资源经济, 2005, (7): 6-8. [Hu X P. Evaluation on mineral resources supply security [J]. Natural Resource Economics of China, 2005, (7): 6-8.]
- [7] 谷树忠, 姚予龙, 沈镭, 等. 资源安全及其基本属性与研究框架[J]. 自然资源学报, 2002, 17(3): 280-285. [Gu S Z, Yao Y L, Shen L, et al. Conceptual framework and research focus of resource security[J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17(3): 280-285.]
- [8] 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. [Liu X, Chen Q S, Zhang Y F, et al. China's chromium demand forecast and resource supply security situation[J]. Resources Science, 2015, 37(5): 933-943.]
- [9] 吴新春. 中国铁矿石资源供应安全研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011. [Wu X C. The research of China's iron ore resources the supply security[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2011.]
- [10] 刘全文, 沙景华, 闫晶晶, 等. 中国铬资源供应风险评价与对策研究[J]. 资源科学, 2018, 40(3): 516-525. [Liu Q W, Sha J H, Yan J J, et al. Risk assessment and countermeasures of chromium resource supply in China[J]. Resources Science, 2018, 40(3): 516-525.]
- [11] 于伟军. 中国铜资源供应安全评价与可持续发展研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014. [Yu W J. The Research of Copper Resource's Supply Safety Assessment and Sustainable Development in China[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014.]
- [12] 张佳东. 中国镍资源的供需分析[A]. 中国地质学会青年工作委员会. 第一届全国青年地质大会论文集[C]. 福州: 中国地质学会青年工作委员会, 2013. [Zhang J D. Supply and Demand analysis of China's Nickel Resources[A]. The Youth Work Committee of the Geological Society of China. Proceedings of the First National Youth Geological Conference[C]. Fuzhou: The Youth Work Committee of the Geological Society of China, 2013.]
- [13] 周京英, 纵凯, 付水兴. 中国镍资源全球配置研究[J]. 矿产勘查, 2015, 6(1): 86-91. [Zhou J Y, Zong K, Fu S X. Study on global market allocation of Chinese nickel metal resources[J]. Mineral Exploration, 2015, 6(1): 86-91.]
- [14] Huang C L, Vause J, Ma H W, et al. Substance flow analysis for nickel in mainland China in 2009[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 84(1): 450-458.
- [15] Zeng X, Zheng H, Gong R, et al. Uncovering the evolution of substance flow analysis of nickel in China[J]. Resources Conservation & Recycling, 2017, 135: 210-215.
- [16] Mudd G M, Jowitt S M. A detailed assessment of global nickel resource trends and endowments[J]. Economic Geology, 2014, 109(7): 1813-1841.
- [17] Elshkaki A, Reck B K, Graedel T E. Anthropogenic nickel supply, demand, and associated energy and water use[J]. Resources Conservation & Recycling, 2017, 125: 300-307.
- [18] Nakajima K, Daigo I, Kansai K, et al. Global distribution of material stocks: Iron, copper and nickel[J]. Matériaux & Techniques, 2017, 105: 5-6.
- [19] 张佳东, 张艳飞, 余倩, 等. 基于层次分析法的中国镍资源安全

- 评价[J]. 中国矿业, 2013, 22(9): 38–41. [Zhang J D, Zhang Y F, Yu Q, et al. Nickel resources safety evaluation in China based on analytic hierarchy prices[J]. China Mining Magazine, 2013, 22(9): 38–41.]
- [20] 乐毅. 锰资源经济利用与安全保障评价体系研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009. [Le Y. Evaluation System Research on Economic Utilization and Security of Manganese Resources[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2009.]
- [21] 牛建英. 战略矿产资源供应安全研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007. [Niu J Y. Study on Strategy Mineral Resources Application Security[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2007.]
- [22] 赵洋. 基于PSR概念模型的中国战略性矿产资源安全评价[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2011. [Zhao Y. Security Evaluation of China's Strategic Mineral Resources on PSR Conceptual Model[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2011.]
- [23] 乔家君. 改进的熵值法在河南省可持续发展能力评估中的应用[J]. 资源科学, 2004, 26(1): 113–119. [Qiao J J. Application of improved entropy method in Henan sustainable development evaluation[J]. Resources Science, 2004, 26(1): 113–119.]
- [24] 张欣莹, 解建仓, 刘建林, 等. 基于熵权法的节水型社会建设区域类型分析[J]. 自然资源学报, 2017, 32(2): 301–309. [Zhang X Y, Xie J C, Liu J L, et al. Analysis on the regional type of water-saving society based on entropy weight method[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(2): 301–309.]
- [25] 沈惊宏, 余兆旺, 周葆华, 等. 区域温泉旅游开发适宜性分析及其对策[J]. 自然资源学报, 2013, 28(12): 2127–2139. [Shen J H, Yu Z W, Zhou B H, et al. Evaluation about tourism development suitability of hot spring in Hunan[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(12): 2127–2139.]
- [26] 王富喜, 毛爱华, 李赫龙, 等. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析[J]. 地理科学, 2013, 33(11): 1323–1329. [Wang F X, Mao A H, Li H L, et al. Quality measurement and regional difference of urbanization in Shandong Province based on the entropy method[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(11): 1323–1329.]
- [27] 柳炳利, 王健伟, 郭科, 等. 基于地质调查评价的矿产资源保障程度: 以藏中地区铜矿为例[J]. 金属矿山, 2014, (8): 87–90. [Liu B L, Wang J W, Guo K, et al. Mineral resources security based on the geological survey and assessment: Taking a copper mine in Central Tibet as a case[J]. Metal Mine, 2014, (8): 87–90.]
- [28] 黄亚男. 矿产资源可持续发展评价研究: 以攀枝花为例[D]. 成都: 成都理工大学, 2014. [Huang Y N. Research on Evaluation of Sustainable Development of Mineral Resources: Based on Pan-zhihua City[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2014.]
- [29] Rosenau-Tornow D, Buchholz P, Riemann A, et al. Assessing the long-term supply risks for mineral raw materials—a combined evaluation of past and future trends[J]. Resources Policy, 2009, 34(4): 161–175.
- [30] 范松梅, 沙景华, 闫晶晶, 等. 中国铁矿石资源供应风险评价与治理研究[J]. 资源科学, 2018, 40(3): 507–515. [Fan S M, Sha J H, Yan J J, et al. Risk assessment and management of iron ore resource supply in China[J]. Resources Science, 2018, 40(3): 507–515.]
- [31] 刘全文, 沙景华, 闫晶晶, 等. 中国钴资源供应风险评价与治理研究[J]. 中国矿业, 2018, 27(1): 50–56. [Liu Q W, Sha J H, Yan J J, et al. Risk assessment and governance of cobalt resources supply in China[J]. China Mining Magazine, 2018, 27(1): 50–56.]
- [32] 郑人瑞, 唐金荣, 周平, 等. 中国锂资源供应风险评估[J]. 中国矿业, 2016, 25(12): 30–37. [Zheng R R, Tang J R, Zhou P, et al. Risk assessment of lithium resources supply in China[J]. China Mining Magazine, 2016, 25(12): 30–37.]
- [33] 沈镭, 钟帅, 胡纾寒. 全球变化下资源利用的挑战与展望[J]. 资源科学, 2018, 40(1): 1–10. [Shen L, Zhong S, Hu S H. Resource utilization under global change: Challenges and outlook[J]. Resources Science, 2018, 40(1): 1–10.]
- [34] 曾祥婷, 许虹, 田尤, 等. 中国镍资源产业现状及可持续发展策略[J]. 资源与产业, 2015, 17(4): 94–99. [Zeng X T, Xu H, Tian Y, et al. Situation and sustainable development strategy of China's nickel resources industry[J]. Resources & Industries, 2015, 17(4): 94–99.]
- [35] 陈甲斌. 镍资源供需态势与应对措施[J]. 国土资源, 2006, (3): 52–53. [Chen J B. Situation of supply and demand of nickel resources and countermeasures[J]. Land & Resources, 2006, (3): 52–53.]
- [36] 芦琳娜, 胡平樱, 雷涯邻. 2020年、2025年、2030年中国镍资源供需量熵值组合预测[J]. 中国矿业, 2016, 25(6): 38–43. [Lu L N, Hu Y P, Lei Y L. Entropy combination forecast of China's nickel supply and demand in year 2020, 2025, 2030[J]. China Mining Magazine, 2016, 25(6): 38–43.]
- [37] 张大超, 汪云甲. 矿产资源安全评价指标体系研究[J]. 地质技术经济管理, 2003, 25(5): 20–24. [Zhang D C, Wang Y J. Indicators of assessment for mineral resource security[J]. Contemporary Economic Management, 2003, 25(5): 20–24.]
- [38] 马艳梅, 吴玉鸣, 吴柏钧. 长三角地区城镇化可持续发展综合评价: 基于熵值法和象限图法[J]. 经济地理, 2015, 35(6): 47–53. [Ma Y M, Wu Y M, Wu B J. Comprehensive evaluation of sustainable urban development of Yangtze River Delta based on entropy method and quadrant method[J]. Economic Geography, 2015, 35(6): 47–53.]

2019年7月

- (6): 47-53.]
- [39] 陈红宁, 徐文华. 基于熵值法的陕西省耕地集约利用评价[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(S3): 209-212. [Chen H N, Xu W H. Agricultural land intensive use evaluation of Shaanxi Province based on entropy method[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(S3): 209-212.]
- [40] 闫璐璐, 王小梅, 柴彦威, 等. 基于熵变视角的生态脆弱区城市化与生态环境交互耦合发展研究: 以西宁市为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(11): 39-43. [Yan L L, Wang X M, Chai Y W, et al. Study on the interaction between urbanization and ecological environment in ecologically fragile areas based on entropy change[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(11): 39-43.]
- [41] 中华人民共和国国家统计局. 国家数据[EB/OL]. (2018-04-11) [2018-04-12]. <http://data.stats.gov.cn/search.htm?s=镍储量>. [National Bureau of Statistics of China. National Data[EB/OL]. (2018-04-11)[2018-04-12]. <http://data.stats.gov.cn/search.htm?s=镍储量>.]
- [42] 中华人民共和国国土资源部. 中国矿产资源年报[R]. 北京: 国土资源部, 2015. [Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China. Annual Report of China's Mineral Resources [R]. Beijing: Ministry of Land and Resources, 2015.]
- [43] 中华人民共和国自然资源部. 中国矿产资源报告[EB/OL]. (2018-05-14) [2018-05-15]. http://www.mnr.gov.cn/sj/sjfw/kc_19263/zgkczybg/. [Ministry of Natural Resources of China. China Mineral Resources Report[EB/OL]. (2018-05-14)[2018-05-15]. http://www.mnr.gov.cn/sj/sjfw/kc_19263/zgkczybg/.]
- [44] World Bureau of Metal Statistics. World Metal Statistics Yearbook 2016[M]. Herts: Office for Statistics WBOM, 2016.
- [45] UN Comtrade Database. Trade Statistics[EB/OL]. (2018-05-09) [2018-05-10]. <https://comtrade.un.org/data/>.
- [46] World Bank. The Worldwide Governance Indicators[R]. Washington: The World Bank, 2016.
- [47] U. S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries[EB/OL]. (2018-05-09) [2018-05-10]. <https://www.usgs.gov/science-explorer-results?es=Mineral+Commodity+Summaries&classification=pub>.
- [48] 中国铁合金在线. 2016年国内镍生产和消费概况[EB/OL]. (2017-05-03) [2018-05-25]. http://www.cnfeol.com/nie/n_084107226490.aspx. [China Ferroalloy Online. Overview of Domestic Nickel Production and Consumption in 2016[EB/OL]. (2017-05-03) [2018-05-25]. http://www.cnfeol.com/nie/n_084107226490.aspx.]
- [49] 和讯网. 菲律宾、印尼政策下的镍市格局[EB/OL]. (2017-04-15) [2018-05-25]. <http://futures.hexun.com/2017-04-15/188845647.html>. [Hexun. Nickel Market Pattern under Philippine and Indonesian Policies[EB/OL]. (2017-04-15)[2018-05-25]. <http://futures.hexun.com/2017-04-15/188845647.html>.]
- [50] 徐爱东, 顾其德, 范润泽. 中国再生镍钴资源综合利用现状[J]. 中国有色金属, 2013, (3): 64-65. [Xu A D, Gu Q D, Fan R Z. Current situation of comprehensive utilization of regenerated nickel cobalt resources in China[J]. China Nonferrous Metals, 2013, (3): 64-65.]
- [51] 燕凌羽, 王安建. 全球镍资源供需格局浅析[J]. 中国矿业, 2016, 25(4): 1-5. [Yan L Y, Wang A J. Analysis of global nickel supply and demand patterns[J]. China Mining Magazine, 2016, 25(4): 1-5.]
- [52] 李强. 镍供需逆转正在加快[N]. 中国冶金报, 2016-02-24(07). [Li Q. Nickel Supply and Demand Reversal Is Accelerating[N]. China Metallurgical News, 2016-02-24(07).]
- [53] 陈其慎, 于汶加, 张艳飞, 等. 矿业发展周期理论与中国矿业发展趋势[J]. 资源科学, 2015, 37(5): 891-899. [Chen Q S, Yu W J, Zhang Y F, et al. Mining development cycle theory and development trends in Chinese mining[J]. Resources Science, 2015, 37(5): 891-899.]
- [54] 路长远, 鲁雄刚, 邹星礼, 等. 中国镍矿资源现状及技术进展[J]. 自然杂志, 2015, 37(4): 269-277. [Lu C Y, Lu X G, Zou X L, et al. Current situation and utilization technology of nickel ore in China[J]. Chinese Journal of Nature, 2015, 37(4): 269-277.]

Safety assessment and countermeasures of nickel resource supply in China

MA Yufang¹, SHA Jinghua¹, YAN Jingjing¹, LIU Quanwen¹, FAN Songmei²,
HE Gengyu¹, ZHOU Ping³

(1. School of Economics and Management, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Sports Business School, Beijing Sport University, Beijing 100084, China;

3. Development Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: Nickel is a scarce mineral resource in China. In recent years, China's nickel resources are facing a severe supply situation due to the extensive use of nickel in stainless steel and new energy batteries. In order to study the supply security of China's nickel resources, an evaluation index system for the supply security of nickel resources in China from domestic safety sources and foreign safety sources is constructed in the paper. The two security sources include five security categories: resource stock, resource supply and demand, resource development, international production and marketing, and international market price. There are one or two safety indicators in each security category, and there are eight safety indicators in total. According to the index system, the comprehensive score of China's nickel resources supply security from 2000 to 2016 is calculated by using the entropy method, and then the radar method is used to try to find out the main factors affecting the safety of China's nickel resources supply in 2016. The evaluation results show that the comprehensive score of China's nickel resources supply security continued to decline and the supply risk continued to increase in 2000-2016. In 2016, factors affecting supply safety were mainly reduced reserves, increased consumption, great dependence on foreign resources, reduced investment in exploration, great policy changes in major importing countries, and the concentration of world nickel production. According to the results of the evaluation, a number of security measures were put forward: increasing the investment in exploration, improving the development level, improving the two recovery rates, strengthening the research and development of nickel resource saving technology in the stainless steel industry, and developing a foreign market of nickel resources. The targeted policy recommendations will help to improve the safety level of nickel supply in China in the future.

Key words: nickel resources; supply safety; entropy method; radar chart; security measures; China