2014 年 11 月 地 球 学 报 Nov. 2014
第 35 卷 第 6 期: 751-758 Acta Geoscientica Sinica Vol.35 No.6: 751-758
www.cagsbulletin.com www.地球学报.com

我国非油气资源矿种需求评价及优先勘查序列厘定

张艳飞, 王高尚*, 陈其慎, 于汶加
中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

摘 要: 重点勘查矿种优先序列评价对新时期我国地质勘查工作科学部署、提高勘查效果、有效缓解资源压力具有重要的先导意义。本文在合理研判未来 20 年我国主要非油气矿产资源需求趋势的基础上, 厘定了矿产的优先勘查序列。首先根据我国矿产资源的供需特征从 134 种矿产中初步筛选出 48 种作为评价样本; 然后建立了包括资源安全程度、经济意义、国防和战略意义以及资源勘查前景等 4 项二级指标和未来需求趋势等 11 项三级指标的重点勘查矿种评价指标体系, 并运用层次分析法进行了系统评价; 最后, 结合共伴生等影响因素, 对优先勘查矿种进行了合理归并, 确立了我国非油气矿产勘查的 4 级优先序列: 1)重点勘查矿种: 铜(钴、碲)、铀等; 2)优先勘查矿种: 锡(铋、铕)、石墨、萤石等; 3)次优先勘查矿种: 银、钼(铼、硒)等; 4)一般勘查矿种: 金刚石、叶蜡石等。

关键词: 非油气矿产; 需求评价; 勘查; 优先序列; 层次分析
中图分类号: X37; O29 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2014.06.11

The Evaluation of China's Mineral Resources Demand and Exploration Priority Sequence

ZHANG Yan-fei, WANG Gao-shang*, CHEN Qi-shen, YU Wen-jia
Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract: The choice of the most important minerals for exploration is of great guiding significance for the promotion of scientific deployment, improvement of the exploration work and alleviation of the pressure on resource supply effectively in the new period. In this paper the authors determined the priority sequence of mineral exploration on the basis of judging demand trends reasonably in the next 20 years. Firstly, 48 minerals were preliminarily screened out from 134 kinds of minerals for further evaluation by analyzing minerals' supply and demand characteristics and establishing four principles. Secondly, the evaluation index system was established, which included 4 secondary indicators (resource insecurity, economic significance, defense and strategy significance, and exploration prospects) and 11 third-level indicators such as future demand trends. Then the importance ranking of 48 minerals was obtained with AHP. Lastly, some minerals were merged based on the consideration of the associated mineral resources, and then four-grade priority sequence for non-oil mineral exploration was determined: 1) Focused exploration minerals such as copper (cobalt) and uranium; 2) Priority exploration minerals such as Tin, graphite and fluorite; 3) Second priority exploration minerals such as silver, molybdenum and gold; 4) General exploration minerals such as diamond and pyrophyllite.

Key words: non-oil mineral resources; demand evaluation; exploration; priority sequence; AHP

矿产资源种类繁多, 据 2012 年国土资源部储量通报, 我国目前已发现 172 种矿产, 其中查明资源储量的为 161 种。随着我国经济发展与资源供需进入新的转折阶段, 矿产资源需求的种类和数量也

本文由中国地质调查局国土资源大调查项目(编号: 12120113089700)和中国地质调查局地质调查工作项目(编号: 1212011120347)联合资助。
收稿日期: 2014-01-22; 改回日期: 2014-07-10。责任编辑: 魏乐军。
第一作者简介: 张艳飞, 女, 1989 年生。硕士研究生。主要从事矿产资源战略研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68999011。E-mail: zhyf1014@163.com。
*通讯作者: 王高尚, 男, 1961 年生。研究员。长期从事矿产资源经济、资源战略研究。E-mail: pacificw@sina.com。

将发生新的变化。调整优化重点勘查矿种，对科学部署新时期地质勘查工作、提高勘查效果、实现“358”找矿突破战略目标，具有先导意义。

国外对于矿产资源重要性评价的研究多来源于政府部门发布的研究报告，这些报告通过对矿产资源的供应集中度、资源短缺对经济、军事上的影响等方面进行评价，获得战略性或风险性矿产目录，并提出相应的保障对策，研究目的是保证本国矿产资源供应安全和经济安全。如英国地质调查局发布存在供应风险的矿产目录(British Geological Survey, 2012)、美国国防研究所发布的威胁美国制造业安全的关键矿产(Silberglitt et al., 2013)、美国能源部发布的清洁能源产业所需关键矿产目录(U.S. Department of Energy, 2010)等。美国国防部还会定期向国会提交基于储备的战略性矿产报告(Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics, 2013)，报告通过分析不同情景下资源短缺对经济社会造成的损失，评价储备矿产种类并测算相应的储备规模及成本。这些研究一方面针对本国的资源安全，另一方面站在全球的角度考虑资源的战略性和重要性，但资源勘查前景并没有成为重要的评价指标。值得指出的是，欧盟委员会发布的战略性和关键性矿产报告中(European Commission, 2010)，在指标体系设置上除了考虑经济重要性和供应风险以外，还考虑了资源在地质上和技术上的可得性(包含储量、基础储量和资源量等指标)以及循环利用的限制和环境风险等指标。国内也有相关的矿产资源重要性的研究。如李文芳等(2008)从经济、政治和国际三个方面建立了矿产资源重要性评价的指标体系，孔锐等(2011)建立了基于层次分析法的矿产资源评价数学模型。此外还有一些研究是基于特定的目的进行评价的，如孙永波等(2005)和胡小平(2005)都针对我国矿产资源的供应安全状况进行了评价；陈其慎等(2007)、余良晖等(2012)针对矿产资源储备的矿种选择进行了相应的研究。国内上述研究在矿产资源重要性评价上取得了一定进展，但研究结果难以直接服务于我国地质勘查工作的部署。

与上述研究不同的是，本文立足国内，从资源需求出发，在合理研判未来我国矿产资源需求趋势的基础上，从资源安全、经济意义、国防和战略意义、资源勘查前景等几个方面设置指标体系，运用层次分析法进行系统评价，定量获得重点勘查矿产的优先序列，并考虑矿产资源的共伴生等因素，对矿种进行了合理归并，最终确定我国非油气矿产勘查的矿种优先序列，以期为地质勘查工作科学部署提供一定依据。

1 未来 20 年我国矿产资源需求波次性

对未来需求趋势的准确把握是判断矿产资源紧缺程度的基础。矿产资源需求的“S”形规律揭示了经济发展与矿产资源消费的基本规律，即伴随着经济的增长，矿产资源消费不会无限增长，当经济发展到一个较高水平时，矿产资源消费达到顶点，之后不再增长或呈缓慢下降态势(王安建，2010；王安建等，2010；王高尚，2010)。而不同种类资源，由于功能和作用不同，其到达顶点的时间不同，这与其应用产业的发展程度密切相关，经济发展带动产业演进，进而带动资源的波次性消费(徐铭辰等，2010；于汶加等，2010；张晓佳等，2010；费红彩等，2013)。工业部门产业演进的顺序一般为：轻工业→初级冶炼→建筑→电子→机械设备→化工→交通运输设备制造→高新科技产业(陈其慎等，2013)，同时带动钢铁及其相关矿产、主要有色金属矿产、化工肥料矿产、能源矿产、新能源及新技术应用矿产需求的波次递进。

根据上述资源需求的“S”形规律、波次递进规律和矿产资源消费图谱，本文初步分析了未来 20 年我国主要矿产的需求波次性。经历几十年的快速工业化发展，我国已步入工业化中期，经济增速和资源需求都已开始放缓，如 2012 和 2013 年我国经济增速分别仅为 7.8%和 7.7%，明显低于过去十年

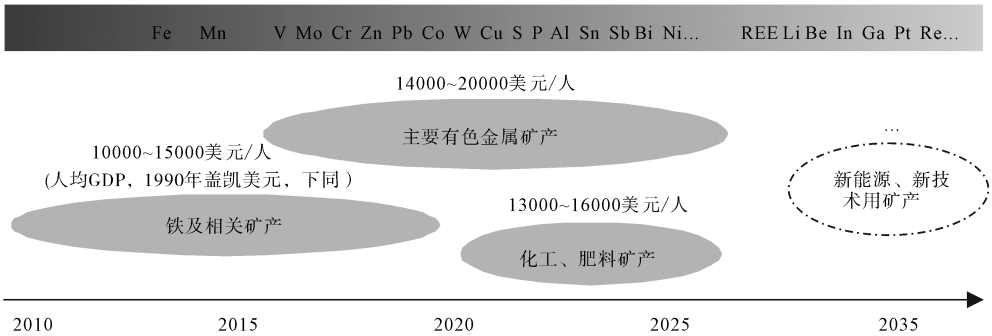

图 1 未来 20 年我国主要矿产到达顶点时间序列

Fig. 1 The peaking time sequence of China's major minerals in the next 20 years

大于 10%的增速。按照 1990 年盖凯美元计算, 未来 20 年我国人均 GDP 将从近 10000 美元增长至 25000 美元左右, 在此期间我国将有多种大宗矿产资源需求陆续达到顶点, 甚至开始缓慢下降。具体来说, 目前中国钢铁需求已经接近顶点, 与钢铁行业相关的锰、铬、钒等金属将随着钢铁需求的到顶而逐步到达顶点; 2020 年前后, 我国铜、铝、铅、锌等主要有色金属也将逐步到达顶点, 这与不锈钢、冶金、电力和交通等行业发展密切相关; 硫、磷和钾盐等主要化工、肥料矿产顶点到来时间在 2020—2025 年之间; 而与新能源、新技术有关的稀土、锂、铍、铟、镓、铂族和铼等金属将随着高新技术产业的发展, 需求快速上升(图 1)。

2　优先勘查评价矿种的选取

2.1　数据及来源

在我国已查明的 161 种矿产中, 通过合并一些非金属矿产, 去掉 6 种油气矿产, 本文总计选取了 134 种矿产作为研究对象, 其中包括能源矿产 6 种、金属矿产 40 种、非金属矿产 88 种。

分析和评价采用的基础数据包括资源禀赋情况(包括资源储量、基础储量、储量占世界比例、储采比等)、供需情况(包括产量、产量占世界比例、消费量、消费量占世界比例等), 市场与贸易状况(包括价格、进出口、市场集中度等)和消费结构变化趋势等方面的数据。上述数据均来自权威的官方统计机构发布的统计资料, 包括《World Metal Statistics Yearbook (WBMS)》、《Minerals Yearbook(USGS)》、《BP Statistical Review of World Energy 2013》、《Steel Statistical Yearbook(WSA)》、国家统计年鉴、中国海关统计年鉴、国土资源统计年鉴、中国矿产资源储量通报、中国钢铁工业发展报告、有色金属统计年鉴等。在数据整理过程中, 作者对数据进行了甄别和修复, 以保证数据的准确性和自洽性。

由于本次研究涉及矿种多、因素复杂, 要进行初步筛选后才能进一步系统评价。即通过初步分析 134 种矿产的资源供需特征, 将一些明显不需要重点勘查的矿种剔除, 如资源丰富, 分布广泛的花岗岩、大理岩、菱镁矿等建材和化工矿产等。

2.2　初步筛选的原则

根据收集的 134 种矿产的基础数据, 综合考虑资源禀赋、需求趋势、可替代性和经济意义等要素, 设置了四个筛选原则:

(1)用量大, 但资源丰富, 不需要大量勘查即可满足需求的矿种可以剔除。如花岗岩、大理岩、石灰岩等建筑用矿产。

(2)需求很小, 现有资源完全可以满足需求的矿产可以剔除。如镓等一些稀有稀散元素类矿产, 现有资源可满足 200 年以上的需求。

(3)由于被替代或环境污染等原因, 用量逐渐萎缩或被禁止使用的矿产可以剔除。如汞等矿产, 毒性大, 已被禁止使用; 再如硫铁矿, 我国保有资源量很大, 且随着石油和有色金属冶炼过程中硫的回收量大幅增加, 硫铁矿用量也会逐渐萎缩。

(4)没有独立矿床且经济社会意义极小的矿产可以剔除。如铷矿, 没有独立矿床, 是锂、铯等金属矿产冶炼及盐湖卤水中的伴生矿产。

2.3　初步筛选结果

根据以上原则进行剔除后, 再将稀土分为轻稀土和重稀土两类, 本文共选出 48 种备选矿产, 其中能源矿产 4 种, 金属矿产 32 种, 非金属 12 种, 具体结果如下:

能源矿产: 煤炭、铀、钍、地热;

金属矿产: 铁矿石、锰矿、铬铁矿、铜、铅、锌、铝土矿、镍、镁、钨、钴、锡、钼、锑、铋、铂族、金、银、锂、铍、铌、钽、锆、轻稀土、重稀土、钪、锗、铟、铪、铼、硒、碲;

非金属矿产: 高岭土、叶腊石、金刚石、宝石、磷矿、钾盐、重晶石、毒重石、石墨、萤石、滑石、高纯石英。

3　指标体系与评价方法

3.1　指标体系

本文指标体系的设计遵循科学性、系统性、可比性、动态性、简洁性的原则, 采用层层分解的方法设置。在设置指标过程中, 本文充分考虑了矿产资源本身的经济意义和战略意义和资源的稀缺程度, 资源稀缺程度是以未来 20 年我国资源需求趋势的合理分析为基础, 具备理论基础, 此外本文创新性地引入了资源勘查前景这一指标, 以保证优先勘查矿种评价体系的系统性和可比性。

基于此, 本文构建的指标体系包含资源安全程度、经济意义、国防和战略意义以及资源勘查前景 4 个二级指标。其中资源安全程度包含未来需求趋势、静态保障年限、对外依存度和境外获取难度等 4 个三级指标; 经济意义包含新兴产业意义、资源经济价值和国际市场影响力等 3 个三级指标; 国防和战略意义包含战略意义和军事或国防意义等 2 个三级指标; 勘查前景包含勘查程度和资源潜力等 2 个三级指标, 共计 11 项三级指标(图 2)。

各三级指标的含义如下:

C1: 未来需求趋势。指某一特定矿产未来需求是上升、高位运行、或下降的发展趋势。

C2: 静态保障年限。指按现有生产规模, 某一

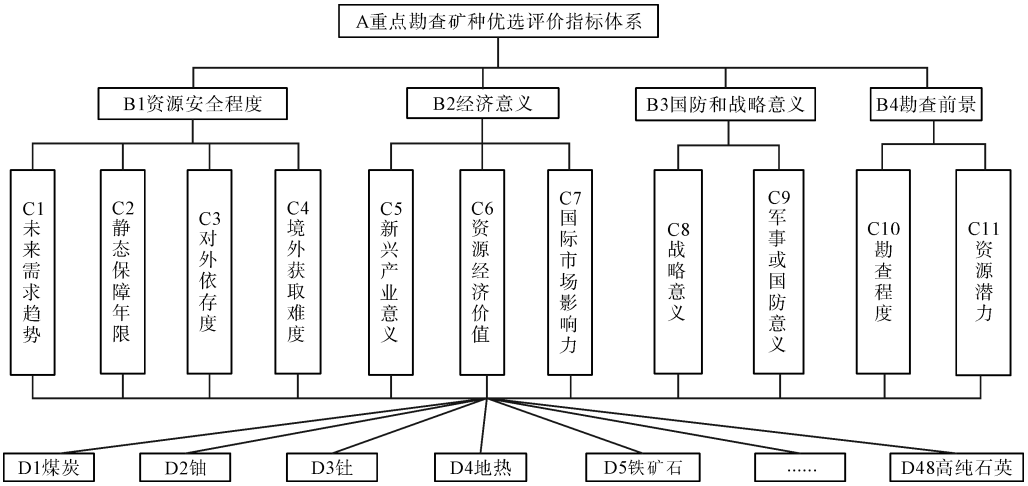

图 2 重点勘查矿种优选评级指标体系

Fig. 2 The evaluation index system for mineral exploration

矿产基础储量对其生产的保障能力，这一指标用我国的基础储量与产量的比例进行表征。

C3: 对外依存度。表示某一矿产的对外依存水平，由近五年来我国矿产的平均对外依存度进行衡量。

C4: 境外获取难度。表示从境外获取资源的难易程度，通过综合分析进口量、进口集中度、通道安全等方面信息，对各类矿产进行综合分析得出。

C5: 新兴产业意义。指某一矿产对新兴产业发展具有特定的重要性，用某一矿产在特定产业中的用量和替代性综合表征。

C6: 资源经济价值。指资源本身能够产生的经济价值，用产品产量乘以平均价格进行衡量。

C7: 国际市场影响力。指我国具有资源优势的矿产，这类优势可以成为我国未来参与国际矿产品话语权制定、争取国际市场话语权的重要砝码，本文用我国矿产产量占世界产量的比例表征。

C8: 战略意义。指某些矿种由于特别重要，能够影响到国家间政治和外交走向，具有战略意义，通过综合分析某一矿产的短缺对资源供需国家间政治关系的影响程度进行判断。

C9: 军事或国防意义。指某一矿种在军工领域的重要性，通过分析该矿种的消费结构、应用领域和替代性进行判断。

C10: 勘查程度。是指我国现有资源的勘查程度，这是一个反向指标，勘查程度较低的矿种应着重进行勘查。

C11: 资源潜力。某一矿产资源的资源潜力是决定能否进行勘查的基础。矿种的资源潜力是根据“全国矿产资源潜力评价项目”成果，并结合其他资料综合进行判断的。

3.2 评价方法和过程

本文选择层次分析法(AHP 法)作为主要的评价方法。层次分析法是美国运筹学家 A.L.Saaty 于 20 世纪 70 年代提出的一种将复杂问题模型化、数量化的过程。通过该方法，可以将复杂问题分解为若干层次和若干因素，在各因素之间进行比较和计算，得出不同指标的权重。然后利用多指标线性加权函数法，计算出多种矿产资源之间的相对重要性。本文评价的基本步骤分为原始数据矩阵的生成、指标权重的确定和相对重要性得分计算三步。

3.2.1 原始数据生成矩阵

本文所有的数据按照 1—4 分进行打分，打分的原则如表 1 所示，按照上述原则进行打分后，形成原始数据矩阵(表 2)。如石墨、锂等在新能源产业中的有重要应用的矿产未来需求将快速上升，C1 分数为 4 分；我国钢铁需求已达到顶点，未来铁矿石需求将由高位运行转入缓慢下降的阶段，因此铁矿石 C1 分数为 2.5 分；我国铜、铝、钾盐等矿产近年来平均对外依存度都超过 50%，其 C3 分数为 4 分；我国钨、钼、稀土等优势矿产全球产量占全球比例超过 30%以上，C7 分数为 4 分等。

值得说明的是，静态保障年限和对外依存度两个指标的数据，容易因为现有产量为零或极小而出现虚高的结果。如金属铪、钪等金属，目前国内产量为零，储产比则为无穷大，此时不能代表该种矿产国内保障程度较高，作者参考消费量与储量的关系进行了适当修正；再如铌和钽，我国资源丰富，但目前由于技术原因金属产量较小，对外依存度较高，但并非是资源短缺造成的不安全性，与本文设置的指标意义有冲突，作者对此类数据也进行了相应的修正。

3.2.2 变量权计算

首先，构造判断矩阵 $A=a_{ij}(i=1, 2,\ldots, n, j=1, 2,\ldots, n)$。为了检验矩阵 A 的一致性，需要计算它

表 1　原始数据矩阵生成原则

Table 1　The principles for the generation of the original data matrix

指标名称\分数	4 分	3 分	2 分	1 分
C1 未来需求趋势(未来 20 年)	快速上升	保持高位	缓慢上升或下降	快速下降
C2 静态保障年限	小于 5 年	5~15 年	15~50 年	大于 50 年
C3 对外依存度	大于 30%	5%~30%	大于–5%小于 5%	出口
C4 境外获取难度	很难	比较难	一般	较容易
C5 新兴产业重要性	应用广泛	一定的应用	有应用但可被替代	很少或几乎没有
C6 资源经济价值	很大	较大	一般	较小
C7 国际市场影响力	大于 30%	30%~15%	15%~5%	5%以下
C8 战略意义	很大	较大	一般	较小
C9 军事或国防意义	很大	较大	一般	较小
C10 勘查程度	较低	一般	较高	很高
C11 资源潜力	很大	较大	一般	较小

表 2　48 种矿产评价得分表

Table 2　Evaluation scores for the 48 kinds of minerals

序号	矿产名称	最终得分	序号	矿产名称	最终得分	序号	矿产名称	最终得分
1	铜	2.7516	17	磷矿	1.8328	33	轻稀土	1.5149
2	铀	2.4599	18	银	1.8278	34	铟	1.4979
3	镍	2.4451	19	锗	1.7999	35	锂	1.4939
4	钾盐	2.4265	20	钼	1.7914	36	高纯石英	1.4939
5	重稀土	2.4159	21	金	1.7716	37	金刚石	1.2030
6	锌	2.3801	22	铍	1.5995	38	叶蜡石	1.1890
7	锡	2.1229	23	钪	1.5995	39	滑石	1.1845
8	铅	2.1028	24	铼	1.5995	40	镁	0.9117
9	石墨	2.1020	25	锆	1.5892	41	毒重石	0.8825
10	萤石	2.0613	26	铪	1.5892	42	铂族	0.8501
11	钴	1.8665	27	煤炭	1.5608	43	地热	0.8378
12	锑	1.8575	28	铬铁矿	1.5600	44	硒	0.6550
13	铝土矿	1.8559	29	钍	1.5597	45	高岭土	0.6096
14	钨	1.8464	30	铁矿石	1.5494	46	重晶石	0.6052
15	铌	1.8394	31	锰矿	1.5457	47	碲	0.5805
16	钽	1.8394	32	铋	1.5149	48	宝石	0.3031

的一致性指标 CI, CI=(λmax-n)/(n-1); 其中, λmax 为 A 的最大特征值, CI 越大表示判断矩阵 A 的一致性越差, 为了检验判断矩阵 A 是否具有好的一致性, 需要将 CI 与平均随机一致性指标 RI 进行比较。当 CR=CI/RI<0.10 时, 判断矩阵具有令人满意的一致性; 否则, 就需要调整判断矩阵 A, 直到 CR<0.10。

然后, 用求和法计算各指标的变量权重。具体步骤为:

1)离散化原始矩阵: 原始数据矩阵记为 Y, 将矩阵 Y 的各列加和, 然后取平均值。若列值大于平均数, 则记为“1”; 若列值小于平均数, 则记为“0”, 可得到数据离散化后 48×11 的矩阵 X。

2)计算 X′X 矩阵: 由矩阵 X 求其转置矩阵 X′, 然后计算 X′X, 记 C=X′X。

3)将矩阵 C 进行平方计算, 得到 M 矩阵。将 M 矩阵的各行和除以矩阵的总和（记为 m）, 再开方, 便得到各变量的权(记为 c_i)。

$$c_i=\sqrt{\sum_{j=1}^{11}C_{ij}^2\Big/m},\ i=1, 2, \ldots, 11。$$

3.2.3　相对重要性得分计算

将各指标权重与 X 矩阵中对应的 48 个矿种的值相乘, 然后求各值之和, 可得到各样品最终得分(表 2)。

4　讨论

4.1　合并和分类

在进行打分和评价的过程中, 要对每一矿种单独进行打分, 但一些以共伴生形式产出的矿产由于没有独立矿床不能作为独立勘查矿种, 必须按照共伴生特点将其合理归并。例如, 铅和锌是共生矿产, 可合并为一类(在实际勘查工作中也是如此); 铪主要赋存在锆矿中, 锆铪可以合并; 分散元素矿产如锗主要赋存于煤矿、铅锌矿中, 铟主要伴生于闪锌矿中, 铼主要产出于辉钼矿中等, 要将其合并至相应的主矿种中。

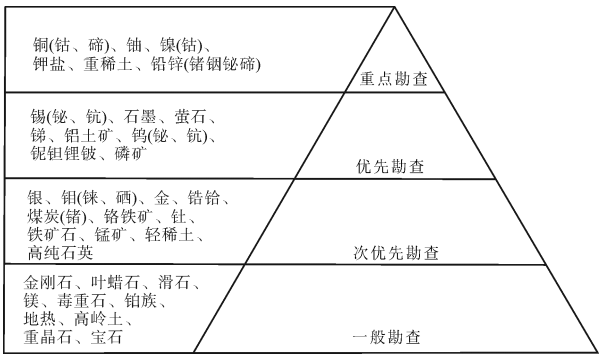

图 3 我国矿产资源勘查矿种优先序列评价结果
Fig. 3 The importance ranking for mineral resources exploration

为使评价结果更有效地应用于实际地质勘查工作的部署中, 也方便对结果的讨论, 本文将重点勘查的矿种分成四个级别: 重点勘查、优先勘查、次优先勘查和一般勘查, 通过合并和分类后, 最终评价结果如图 3 所示。

4.2 矿种排序的讨论

4.2.1 重点勘查矿种

本文评价结果中, 重点勘查矿种为铜(钴)、铀、镍(钴)、钾盐、重稀土和铅锌矿。这些矿产在资源短缺性、经济意义以及国防和战略意义上都非常重要, 并具有较好的勘查前景。以重稀土为例, 据王登红等(2013)“我国三稀矿产资源战略调查”的研究结果显示, 风化壳型离子吸附型稀土资源(中重稀土矿)是我国特有的资源类型, 具有良好的勘查前景, 然而该类资源在我国目前稀土资源总量中仅占 1%左右, 且消耗快速, 因此, 在保护好该类资源的同时, 应对其进行重点勘查。

4.2.2 优先和次优先勘查的矿种

(1)石墨和萤石。由于在节能环保、新能源、新材料方面的应用, 萤石和石墨的未来需求将会快速上升, 它们同时被美国和欧盟列为战略性矿产。我国作为这两类矿产的第一生产大国, 无论从发展新兴产业还是保持我国优势地位的角度, 都应将这两类矿产列为优先勘查的矿种。

(2)钨、锡、钼和锑。这几种矿产都是我国传统的优势矿产, 然而据最新的储量核查结果表明, 我国锡矿和锑矿保有资源储量明显下降, 保障程度快速降低, 因此锡和锑在本次评价中排位较为靠前。尤其是锡矿, 我国 2012 年对外依存度已达到 17%, 未来全球无铅化进程将进一步推动锡焊料用量的增加, 全球锡资源可能面临供不应求的状况, 因此锡在优先勘查矿种中排在第一位。锑矿伴随着阻燃行业的快速发展, 消费量也会持续增加(袁博等, 2011), 但由于锑矿目前尚可保持出口, 因此锑矿排在锡矿之后。我国钨矿资源丰富且共伴生组分多, 可实现综合利用(贾木欣等, 2013; 余良晖等, 2013), 钨矿虽然也存在过度开发的问题, 但重要性不及锡和锑; 而钼矿的开发存在明显地过度勘查和盲目扩产问题(闫兴虎, 2013), 导致目前国内资源优势难以转化为经济优势, 因此钼矿排在次优先勘查的矿种之列。

(3)铝土矿。铝土矿是我国用量较大的大宗矿产, 应用重要性与铜不相上下, 但本文的评价结果显示其不在重点勘查矿种之列, 主要的原因有两点: 一是我国现有铝土矿未占用保有资源达到 70%, 未占用资源的进一步利用将能够缓解铝土矿资源的紧缺性; 二是国内氧化铝和原铝产能过剩, 过剩产能的逐步化解也将使其紧缺性得到缓解。

(4)金。在全球性商业性勘查中, 金一直做为重点勘查的矿种之一, 本文评价结果显示其在次优先勘查序列, 主要的原因如下: 本文的指标体系设置立足于国内资源安全, 而黄金做为避险工具, 其资源属性对市场的影响愈加减弱(韩美玲, 2010), 从资源安全的角度说, 黄金勘查的紧迫性并不强烈, 其四级指标的打分都处于中等分数, 因此结果分数也较低。

(5)煤炭和铁矿石。煤炭排名靠后的原因如下: 目前, 我国煤炭资源的保有程度和储产比都较高, 而未来需求将会下降, 这是由于在减少碳排放和环境污染的双重压力下, 随着能源结构的逐步调整和清洁能源使用的增加, 煤炭在我国能源消费结构中的比重将会下降。铁矿石排位也较靠后, 原因一方面是我国钢铁需求已经到达顶点, 废钢的回收量也逐步上升, 铁矿石未来需求将进入缓慢下行阶段, 另一方面是目前我国还有大量保有资源未被利用。

(6)铬铁矿和锰矿。铬铁矿和锰矿都是我国十分紧缺的矿产, 特别是铬铁矿大部分依赖进口, 但随着我国钢铁需求的到顶, 主要用于钢铁产业的锰和铬的需求也会相应放缓, 并且我国锰矿和铬铁矿的勘查前景都相对较差, 因此排在次优先勘查矿种之列。

(7)锂铍铌钽矿。锂在新能源领域、铌钽在航空、航天领域和铍在军工领域都有重要的应用, 属于优先勘查的矿种。前文述及花岗伟晶岩型矿床是我国锂铍铌钽矿产出的最重要的矿床类型, 事实上, 铌钽矿的另外一类比较重要的矿床类型是与碳酸岩有关的稀土-铌-铁型(如内蒙古白云鄂博超大型稀土-铌-铁矿)矿床, 但在本文的评价结果中, 轻稀土和铁矿石目前都属于次优先勘查的矿种, 考虑到铌钽矿的重要性, 本文未将铌钽归入轻稀土的共生矿产中。同样, 锂矿的主要利用类型之一是卤水锂矿, 然而我国盐湖锂产量不足的主要制约因素是含锂卤水的镁锂比值较高, 而非资源短缺, 因此未将卤水

锂矿单独作为一个勘查矿种考虑。综上所述, 本文将锂铍铌钽归为一类, 并主要指花岗伟晶岩型的锂铍铌钽矿床。

4.2.3　一般勘查的矿种

上述评价结果中一般勘查的矿种为金刚石、叶蜡石、滑石、镁、毒重石、铂族、地热、高岭土、重晶石和宝石。这些矿产有的资源潜力不大, 且替代性很强(如金刚石), 有的资源丰富, 分布广泛, 且工业意义要逊于其他的矿产, 因此排在一般勘查的矿种之列。

4.3　评价结果的时空限制

(1)时间限制。本文的评价研究是从资源需求出发的, 资源需求预测的时限是未来 20 年, 因此本文评价结果的有效性为未来 20 年内, 而 20 年之后资源供需形势可能会发生更多的变化, 勘查工作也要相应的进行更大的调整。

(2)空间限制。首先, 本文是立足国内资源安全的研究成果, 未将全球资源供需格局纳入考虑, 未来印度、印度尼西亚等东南亚国家的经济崛起对资源的需求可能会影响我国的资源勘查工作; 其次, 本文的评价指标体系是将我国作为整体进行讨论, 我国国土面积广大, 东、中、西部地区发展程度和资源消费水平都存在很大差异, 本文的评价指标体系不能反映相应的问题, 存在一定的局限性。例如我国铝土矿资源总体品质较差, 而广西、贵州地区是产出优质铝土矿资源的重要地区, 在这些地区勘查优质铝土矿资源十分必要; 我国煤炭资源分布具有“北多南少、且南方煤炭品质相对较差”的特点, 因此要加强南方地区优质煤炭资源的勘查和开发; 未来铁矿石的勘查也不能一概否定, 随着未来我国钢铁产业将会向中西部进行转移, 在中西部一些欠发达地区, 要保持适度的铁矿石勘查力度, 以满足地区经济发展和基础设施建设的需求, 而东部地区则不宜再大规模进行铁矿石勘查。

5　结论

本文主要有以下结论:

(1)经济发展带动产业演进, 进而带动矿产资源需求的波次递进。未来 20 年我国经济增速逐步放缓, 铁及相关矿产、主要有色金属矿产等将陆续达到顶点, 而与新能源、新技术有关的金属矿产需求将快速增加。

(2)通过分析我国各类矿产资源供需特征, 从资源禀赋、需求趋势、可替代性和经济意义等方面综合考虑设置了四个原则, 本文初步筛选出 48 种备选的矿产。

(3)本文建立了重点勘查矿种评价指标体系, 选取了资源安全程度、经济意义、国防和战略意义以及资源勘查前景等 4 个二级指标, 未来需求趋势、资源潜力等 11 项三级指标, 运用层次分析法对 48 种矿产进行了系统评价。

(4)通过合理归并和分类, 勘查矿种优先序列如下:

重点勘查类: 铜(钴、碲)、铀、镍(钴)、钾盐、重稀土、铅锌(铟锗铋碲);

优先勘查类: 锡(铋、钪)、石墨、萤石、锑、铝土矿、钨(铋、钪)、铌钽锂铍矿、磷矿; 其中铌钽锂铍矿主要指花岗伟晶岩型;

次优先勘查类: 银、钼(铼、硒)、金、锆铪、煤炭(锗)、铬铁矿、钍、铁矿石、锰矿、轻稀土(钪)、高纯石英;

一般勘查类: 金刚石、叶蜡石、滑石、镁、毒重石、铂族、地热、高岭土、重晶石、宝石。

参考文献:

陈其慎, 王安建, 王高尚, 杜学明, 邢万里. 2013. 美国矿产资源消费图谱初探[J]. 中国矿业, 22(5): 8-14.

陈其慎, 王高尚. 2007. 我国非能源战略性矿产的界定及其重要性评价[J]. 中国国土资源经济, (1): 19-21, 44-45.

费红彩, 张玉华. 2013. 美国未来能源格局趋势与中国页岩气勘查现状[J]. 地球学报, 34(3): 375-380.

韩美玲, 张德会. 2010. 世界黄金产业分析[J]. 资源与产业, 12(4): 100-106.

胡小平. 2005. 矿产资源供应安全评价[J]. 中国国土资源经济, (7): 6-9.

贾木欣, 王明燕, 李艳峰, 孙传尧. 2013. 我国钨资源矿石性质特点及资源利用存在的问题[J]. 矿冶, 22(1): 90-94.

孔锐, 裴文林, 曾祯. 2011. 我国重要矿产资源评价模型设计与研究[J]. 资源与产业, 13(2): 31-36.

李文芳, 孔锐, 王仁财. 2008. 我国重要矿产资源评价指标体系研究[J]. 中国国土资源经济, (7): 26-29.

孙永波, 汪云甲. 2005. 矿产资源安全评价指标体系与方法研究[J]. 中国矿业, 14(4): 36-37, 81.

王安建, 王高尚, 陈其慎, 于汶加. 2010. 矿产资源需求理论与模型预测[J]. 地球学报, 31(2): 137-147.

王安建. 2010. 世界资源格局与展望[J]. 地球学报, 31(5): 621-627.

王登红, 王瑞江, 李建康, 赵芝, 于扬, 代晶晶, 陈郑辉, 李德先, 屈文俊, 邓茂春, 付小方, 孙艳, 郑国栋. 2013. 中国三稀矿产资源战略调查研究进展综述路[J]. 中国地质, 40(2): 363-370.

王高尚. 2010. 后危机时代矿产品价格趋势分析[J]. 地球学报, 31(5): 629-634.

徐铭辰, 王安建, 陈其慎, 杜雪明. 2010. 中国能源消费强度趋势分析[J]. 地球学报, 31(5): 720-726.

闫兴虎. 2013. 中国钼矿资源开发问题分析及对策[J]. 中国矿业, 22(10): 16-18.

于汶加, 王安建, 王高尚. 2010. 中国能源消费“零增长”何时

到来[J]. 地球学报, 31(5): 635-644.

余良晖, 马茁卉, 周海东. 2013. 我国钨矿资源开发利用现状与发展建议[J]. 中国钨业, 28(4): 6-9.

余良晖, 薛亚洲, 贾文龙. 2012. 矿产地战略储备的矿种选择分析[J]. 中国矿业, 21(6): 5-8.

袁博, 范继涛, 余良晖. 2011. 我国锑资源形势分析及对策建议[J]. 中国国土资源经济, (3): 47-49, 56.

张晓佳, 王高尚, 陈其慎, 彭颖. 2010. 我国区域性矿产资源需求差异与趋势分析[J]. 地球学报, 31(5): 679-685.

References:

British Geological Survey. 2012. Risk list 2012.An update to the supply risk index for elements or elements groups that are of economic value[OL/EB]. [2013-10-12]. http://www.bgs.ac.uk.

CHEN Qi-shen, WANG An-jian, WANG Gao-shang, DU Xue-ming, XING Wan-li. 2013. Discussion on mineral resources consumption altas of American[J]. China Mining Magazine, 22(5): 8-14(in Chinese with English abstract).

CHEN Qi-shen, WANG Gao-shang. 2007. Definition for Strategic Non-energy Minerals in China and Their Quantified Weighty Evaluation[J]. Natural Resource Economics of China, (1): 19-21, 44-45(in Chinese with English abstract).

European Commission. 2010. Critical raw materials for the EU-Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials[OL/EB]. [2013-10-12]. http://ec.europa.eu.

FEI Hong-cai, ZHANG Yu-hua. 2013. The Trend of US Future Energy Pattern and the Present Situation of China's Shale Gas Exploration[J]. Acta Geoscientica Sinica, 34(3): 375-380(in Chinese with English abstract).

HAN Mei-ling, ZHANG De-hui. 2010. Analysis on world gold industry[J]. Resources & Industries, 12(4): 100-106(in Chinese with English abstract).

HU Xiao-ping. 2005. Evaluation on Mineral Resource Supply Security[J]. Natural Resource Economics of China, (7): 6-9(in Chinese with English abstract).

JIA Mu-xin, WANG Ming-yan, LI Yan-feng, SUN Chuan-yao. 2013. Characteristics of Chinese Tungsten ore and the Problems in the Tunsten resources utilization[J]. Mining & Metallurgy, 22(1): 90-94(in Chinese with English abstract).

KONG Rui, PEI Wen-lin, ZENG Zhen. 2011. Design and Study of Evaluation Model of China's Vital Mineral Resources[J]. Resources & Industries, 13(2): 31-36(in Chinese with English abstract).

LI Wen-fang, KONG Rui, WANG Ren-cai. 2008. Research on Evaluation Target System of Important Mneral Resources in China[J]. Natural Resource Economics of China, (7): 26-29(in Chinese with English abstract).

Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics. 2013. Strategic and Critical Materials 2013 Report on Stockpile Requirements[OL/EB]. [2013-10-12]. http://mineralsmakelife.org.

SILBERGLITT R, BARTIS T J, CHOW G B, AN L D, BRADY K. 2013. Critical Materials Present Danger to U.S. Manufacturing[OL/EB]. [2013-10-12]. www.rand.org.

SUN Yong-bo, WANG Yun-jia. 2005. The Study of Evaluation Index System and Way in Mineral Resources Security[J]. China Mining Magazine, 14(4): 36-37, 81(in Chinese with English abstract).

U.S. Department of Energy. 2010. Critical Mineral Stratery[OL/EB]. [2013-10-12]. http://energy.gov.

WANG An-jian, WANG Gao-shang, CHEN Qi-shen, YU Wen-jia. 2010. The Mineral Resources Demand Theory and the Prediction Model[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(2): 137-147(in Chinese with English abstract).

WANG An-jian. 2010. Global Resource Structure and Its Perspective[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(5): 621-627(in Chinese with English abstract).

WANG Deng-hong, WANG Rui-jiang, LI Jian-kang, ZHAO Zhi, YU Yang, DAI Jing-jing, CHEN Zheng-hui, LI De-xian, QU Wen-jun, DENG Mao-chun, FU Xiao-fang, SUN Yan, ZHENG Guo-dong. 2013. The progress in the strategic research and survey of rare earth, rare metal and rare-scattered elements mineral resources[J]. Geology in China, 40(2): 363-370(in Chinese with English abstract).

WANG Gao-shang. 2010. Mineral Commodity Prices Trend in the Late Crisis Times[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(5): 629-634(in Chinese with English abstract).

XU Ming-chen, WANG An-jian, CHEN Qi-shen, DU Xue-ming. 2010. Trend Analysis of China's Energy Consumption Intensity[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(5): 720-726(in Chinese with English abstract).

YAN Xing-hu. 2013. Analysis of problems during molybdenum resources development in China and suggestions[J]. China Mining Magazine, 22(10): 16-18(in Chinese with English abstract).

YU Liang-hui, MA zhuo-hui, ZHOU Hai-dong. 2013. Present Situation and Development Suggestion of Exploiting and Utilizing China's Tungsten Resource[J]. China Tungsten Industry, 28(4): 6-9(in Chinese with English abstract).

YU Liang-hui, XUE Ya-zhou, JIA Wen-long. 2012. Analysis of the strategic reserves mineral resources selection[J]. China Mining Magazine, 21(6): 5-8(in Chinese with English abstract).

YU Wen-jia, WANG An-jian, WANG Gao-shang. 2010. A Prediction on the Time of Realizing Zero Growth of Energy Consumption in China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(5): 635-644(in Chinese with English abstract).

YUAN Bo, FAN Ji-tao, YU Liang-hui. 2011. Situation Analysis and Suggestions for China's Antimony Resources[J]. Natural Resource Economics of China, (3): 47-49, 56(in Chinese with English abstract).

ZHANG Xiao-jia, WANG Gao-shang, CHEN Qi-shen, PENG Ying. 2010. China's Regional Differences in Mineral Resources Demands and Trend Analysis[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(5): 679-685(in Chinese with English abstract).