

问题讨论

稀土综合利用新途径探究—华沙大学锡矿尾矿试验的启示

何 淼,周进生

(中国地质大学(北京),北京 100083)

摘要:矿产资源节约综合利用是世界各国关注重点,也是我国十三五规划中关注着力点。近年来我国稀土资源开发中的资源、环境、生态压力巨大,资源储量大为减少,为保证我国稀土资源的优势地位和国际稀土市场的主动权,需要探索创新性的资源开发利用方式。波兰华沙大学与 PT(葡萄牙)布来邦加勘探公司合作开展了一项印尼锡矿尾矿试验,该项研究表明印尼锡矿尾矿中有稀土资源综合利用的潜能,该项试验预估出印尼邦加岛锡矿生产中每年可至少加工出 10,000 t 包含稀土元素的金属(包含轻稀土独居石和重稀土磷钇矿)。我们可以借鉴试验的思路和方法解决我国矿产资源多途径综合利用中的问题,实现尾矿中稀土资源找矿突破、尾矿中稀土资源的利用技术突破,创新非绿色壁垒出口限制措施,化解资源开发的环境负外部性,优化矿区环境治理。

关键词:锡矿尾矿;稀土元素;综合利用

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.05.024

中图分类号:TD952 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)05-0105-06

稀土金属是一种重要金属资源,在光、电、磁、超导、催化活性等方面有丰富的优异性能,在工业和军事方面用途广泛,有工业维生素之美誉,在经济发展和国防安全中不可或缺。我国具有稀土资源优势,储量占世界储量 23%,近年来稀土行业发展迅速,既可满足内需也是全球稀土供应链中的重要一环,在稀土国际市场中占 90% 比重。主要国家均将稀土视为重要资源、战略资源,稀土资源的主要进口国美国、欧盟、日本认为中国稀土在国际市场比重独大不易保证本国稳定供应,因此试图建立西方主导的排华的国际稀土供应市场。在国际市场控制权的竞争中,西方国家试图控制稀土市场的定价权,WTO 框架下的稀土配额之诉便是一种策略,影响了国际稀土市场价格。除此之外,西方国家寻找更多稳定廉价的稀土资源新来源也是一种策略。这一策略包括对原有资源的评估重启开发、寻找新资源及对已有资源或废料的综合利用等途径。

首先的一条途径是寻找新的稀土资源来源和重新开启关闭的矿山。加拿大阿瓦隆稀有金属公司在加拿大西北的阿瓦隆矿区开展了工作。如果这一努力有进展的话,阿瓦隆矿区会成为加拿大第一个稀土矿,这一矿区被描述为中国以外最大的重稀土金属矿,阿瓦隆公司的预可行性研究报告的回采率是 89% 的 Z_2O_2 , 79.5% 的各种稀土元素氧化物, 68.9% 的氧化铌(Nb_2O_5), 63% 的氧化钽。澳大利亚的莱纳斯公司已经开始在中国运作,这家公司的志向是成为和中国并肩的世界上最大的重稀土供应商。日本在越南、印度等国展开了海外投资计划并在探索太平洋海底的稀土资源,日本东京大学一个研究小组最新宣布已在日本专属经济区海底发现了大型稀土矿床,推测稀土储量相当于目前日本稀土年消费量的 220 倍以上。

其次的一条途径是从资源充分利用、综合利用的角度,对尾矿、废料库、炉渣库中的资源进行探索。

收稿日期:2016-03-31;改回日期:2016-05-03

基金项目:中国地质调查局项目“重要成矿区带找矿突破与保护综合评价体系研究”资助(1212011220851);国土资源部资源环境承载力重点实验室资助。

作者简介:何淼(1985-),博士生,主要研究方向资源产业经济与可持续发展、资源环境金融、自然资源法学与环境管理。

通讯作者:周进生(1963-),男,博士生导师,研究员,主要研究方向为资源环境经济、矿业经济。E-mail:zhoujinsheng001@163.com。

美国地质调查局开始分析老的、停产的矿山及采矿废物中稀土类关键金属的来源。欧盟中的一些成员国也在进行相关试验,波兰华沙大学的 dr. hab 教授和他的团队曾在《稀土元素的新来源》中详尽介绍了波兰地质学院的教员和葡萄牙的 PT 布来邦勘探公司通过对锡矿尾矿中稀土成分分析试验来评估锡矿尾矿的化学和矿物学组分中的稀土矿物潜力。他们所做的试验恰巧证明了印尼邦加岛的风化火成岩冲积形成的锡矿尾矿中包含了相当数量的独居石、磷钇矿、锆石、金红石、锐钛矿、铁钛矿、钛铁矿及锡矿,并且从这些尾矿中可以提炼出稀有元素钽和铌。

1 印尼邦加岛的锡矿试验

1.1 试验概述

这项试验通过标本收集、标本处理、标本观察和数据分析等程序对锡矿尾矿中的稀土金属潜力及矿物资源价值进行估算。

标本收集在邦加岛进行,邦加岛又称锡岛,富有锡、铁、铜、铅等矿藏,锡砂产量占全国一半以上。标本收集点选择在邦加岛从北至南的 Bedukang、Sungailiat、Jurung、Puput、Sungkap、Nyelanding、Toboali 七地。科学家按照稀土和加工锡石砂矿的流程进行收集,共收集了 450 个标本。收集标本中有锡石砂矿、重矿石的初级聚集物,锡矿聚集物、密度小于锡矿($<6.8 \text{ g/cm}^3$)的重矿石尾矿及锡熔化过程中的矿渣标本。

科学家们对收集的标本按照锡矿加工工序进行处理,去除贫矿和杂质,使用冲洗摇床分离及金属熔炉熔化提纯的过程中产生了尾矿和残余物。科学家通过研磨干燥、结晶等环节对收集来的矿石标本进行处理。使用压片法准备标本;使用玛瑙研钵或带钨锅的赫尔佐格盘磨机研磨干燥;使用有 LynxPSD 探测眼的 AXSD8 达芬奇衍射仪进行分析,并使用自动光学及 $\text{NiK}\beta$ 过滤器。通过帕纳科 Axios 矿物光谱仪(WD—XRF)对主要元素和小组分元素进行识别并通过赫尔佐格盘磨机进行研磨。为得到标准数据,在进行化学微量分析中,采用不同程序。标本包裹在环氧树脂 TM 中,使用金刚石悬浮液进行抛光。将 30 毫微米的碳层衍射到标本上,标本测量前先校准,依据 MAC(磷灰石、蓝晶石、稀土金属的氧化物和氟化物、氧化钽、氧化铀、氧化铅、钇铝石榴石)标准。来自测量标本的 X 光标准射线使用 EDAX A-

pollo—XEDS 探测器标记。使用 EDAX 创世纪软件对光谱进行分析和解卷积。标本结晶过程使用力量评估 V4.2 软件及 ICDD PDF—2 V·2007 和 PDF4+ V·2011 数据库进行。定量分析阶段根据里德伯尔德法在布鲁克帕斯 V4.2 软件下进行。衍射计的零位偏移和仪器因素通过 NIST 标准 LaB6 660b 测量,并基于基础参数模型与标准标本的单元校准结合。

科学家们认为富集阶段的尾矿含有大量重金属,在这些重金属中包含稀土金属的矿物。

1.2 试验揭示的稀土元素潜力

通过标本分析,科学家们发现了尾矿中一定数量的轻稀土(LREE:La—Eu)和颇具规模的独居石、磷钇矿这两种稀土元素的重要来源并发现一些其他关键金属,金属铌和钽等(表 1)。现主要介绍发现独居石和磷钇矿的情况。

从矿物组分情况看,含有独居石[(Ce, La, Nd, Th) PO_4]的标本有 19 个,含量从 1.38% 到 21.23% (平均 3.93%);含有磷钇矿[Y PO_4]的标本有 20 个,成分主要是 HREE(Gd—Lu),含量从 0.45% 到 17.55% (平均 2.48%)。另外,标本中获得的独居石和磷钇矿的晶体常数比使用里特维德法基于假设像 Ni 之类的金属晶体结构(1995)多 10%。(表 2、3)

表 1 由 XRD 观察到的精选的有代表性的矿物组分/%

Table 1 Selected representative mineral components observed by XRD

名称	Nyelanding	Toboali	Sungkap	Bedukang	Jurung	Puput
独居石	5.22	2.44	21.23	1.82	1.38	7.07
磷钇矿	1.78	3.27	17.55	1.01	0.56	1.13
锆石	7.32	18.69	16.92	10.69	1.33	62.82
金红石	19.97	5.09	3.77	4.73	2.80	1.55
锐钛矿	1.92	0.34	0.92	3.16	4.82	0.11
铁钛矿	41.70	28.93	7.19	38.68	37.64	ND
钛铁矿	2.35	9.16	16.90	4.12	3.15	8.79
锡石	1.90	3.21	8.46	1.24	0.55	18.53
石英	17.80	24.65	ND	23.53	19.25	ND
黄铁矿	ND	ND	4.68	2.19	ND	ND
白铁矿	ND	ND	2.39	2.42	ND	ND
电气石	ND	4.23	ND	6.42	18.69	ND
黄晶	ND	ND	ND	ND	9.84	ND

注:ND—低于观测的最低线

表 2 由 XRD 分析观测到的独居石的晶格参数

Table 2 Lattice parameters of solitary stone observed by XRD analysis

晶格参数	来自混合精矿中的独居石	来自 Sungkap(邦加岛中央)的独居石
a[Å]	6.80411±0.00020	6.80571±0.00061
b[Å]	7.01671±0.00020	7.01881±0.00029
c[Å]	6.48646±0.00023	6.48409±0.00036
Beta°	103.6825±0.0029	103.6818±0.0065

使用里特维德 XRD 法定量 Toboali 标本中的纹理碎片,发现小于 1 mm 厚的地方有独居石,除大于 2 mm 的地方外均有磷钇矿,磷钇矿集中度最高的部

表 4 由 XRD 检测出的来自 Toboali 的标本中分离矿脉碎片的矿物组分

Table 4 The mineral components of the lode fragments isolated from samples from Toboali detected by XRD

矿物	在矿脉尺寸碎片中的矿物含量/%						
	>2 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.2~0.5 mm	0.1~0.2 mm	0.017~0.1 mm	<0.071 mm
独居石	ND	ND	0.375±0.066	2.52±0.18	3.07±0.17	3.40±0.15	1.78±0.14
磷钇矿	ND	0.514±0.040	0.401±0.041	3.49±0.12	4.07±0.13	1.77±0.13	0.302±0.035
锆石	ND	6.138±0.092	5.71±0.11	15.65±0.24	22.49±0.36	52.59±0.53	45.19±0.41
金红石	ND	ND	0.483±0.057	5.68±0.17	5.80±0.18	2.55±0.24	1.36±0.20
锐铁矿	ND	ND	ND	0.554±0.078	0.514±0.074	ND	ND
铁钛矿	ND	ND	ND	28.74±0.85	33.79±0.90	16.32±0.64	ND
钛铁矿	ND	ND	ND	8.70±0.85	12.37±0.31	6.70±0.31	3.23±0.29
锡石	16.05±0.11	6.144±0.059	6.473±0.067	2.878±0.068	2.578±0.070	5.286±0.90	20.93±0.20
石英	44.63±0.29	70.30±0.35	56.64±0.34	24.66±0.41	11.19±0.28	11.39±0.40	9.42±0.34
电气石	39.31±0.66	16.90±0.39	29.93±0.38	7.13±0.61	4.13±0.64	ND	17.78±0.55
矿脉碎片/%	0.13	0.44	2.01	60.4	31.67	4.62	0.74

表 5 WD-XRF 半定量分析独居石精矿,邦加

Table 5 WD-XRFsemi-quantitative analysis of solitary stone concentrate,bona

成分	含量/%	成分	含量/%	成分	含量/%
F	1.34	MnO ₂	0.12	Nd ₂ O ₃	9.84
MgO	0.21	Fe ₂ O ₃	5.04	Sm ₂ O ₃	1.28
Al ₂ O ₃	0.71	Y ₂ O ₃	1.24	Gd ₂ O ₃	0.70
SiO ₂	2.41	ZrO ₂	0.98	Dy ₂ O ₃	0.39
P ₂ O ₅	16.3	Nb ₂ O ₅	0.10	WO ₂	0.10
SO ₃	4.5	SnO ₂	8.23	ThO ₂	4.49
K ₂ O	0.03	La ₂ O ₃	10.80	U ₃ O ₈	0.18
CaO	0.24	Ce ₂ O ₃	20.40	总计	95.5
TiO ₂	3.92	Pr ₂ O ₃	2.05		

* 钨体搅拌

用 BSE 探测器 SEM(100 μm)抛光后的 Toboali 独居石标本,发现独居石矿脉的典型组成形式,在 SEM(20 μm)发现了精矿中的自形独居石矿脉。观察矿脉结构,BSE 影像可见独居石矿脉存在零结构,

分出现在 0.1~0.5 mm 碎片部分(表 4)。探测发现,标本包含 90.6% 独居石精矿。对标本进行观察,在低倍显微镜下有灰白、黄及浅棕的独居石纹理和大约 15% 深色金属共同存在。

表 3 由 XRD 分析观测到的磷钇矿的晶格参数

Table 3 Lattice parameters of yttrium mine observed by XRD analysis

晶格参数	Sungkap(邦加岛中央)
a[Å]	6.89670±0.00019
b[Å]	6.03470±0.00047

轻独居石影像以高聚集度的阿类元素为特征。还可观察出与独居石同构的硅酸钪和硅酸铀—可能是硅钪石,它们的集中度差异很大,轻的部分含量大于重的部分。BSE 影像揭示了独居石矿脉以不规则或更为罕见的同心圈状为特征,化学微量分析中,轻的部分的 BSE 影像也显示了更高聚集度的铀类(U 和 Th)。从打磨的标本及矿脉的表面看,独居石和磷钇矿的矿脉比其他重金属矿脉孔隙更多。

对精选的磷钇矿矿脉进行化学微量分析,发现重要的重稀土金属聚集物。Toboali 磷钇矿中氧化铈的含量为平均 22.13%。Sungailiat 磷钇矿的含量是 19.99%。相应的,氧化钇的含量分别是 38.62% 和 40.55%。

表6 来自 Toboali 和 Sungailiat 尾矿标本中精选
独居石矿脉中测量的平均氧化物含量/%

Table 6 The content of average oxide concentrate
measured in the selected monazite vein from Toboali
and Sungailiat tailings

氧化物	Toboali		Sungailiat	
	平均值	偏离标准值	平均值	偏离标准值
SiO ₂	0.02	0.08	0.01	0.07
Y ₂ O ₃	38.62	1.20	40.55	1.73
P ₂ O ₅	36.71	0.70	37.75	0.80
PbO ₂	0.29	0.03	0.30	0.10
ThO ₂	0.95	0.54	0.52	0.57
UO ₂	0.90	0.53	0.90	0.79
Nd ₂ O ₃	0.36	0.19	0.30	0.18
Sm ₂ O ₃	0.86	0.41	0.64	0.13
Gd ₂ O ₃	3.22	1.05	2.23	0.38
Tb ₂ O ₃	0.88	0.18	0.68	0.12
Dy ₂ O ₃	6.13	0.73	5.48	0.64
Ho ₂ O ₃	1.39	0.17	1.34	0.13
Er ₂ O ₃	4.25	0.69	4.34	0.42
Yb ₂ O ₃	4.36	0.88	4.42	0.86
Lu ₂ O ₃	0.67	0.13	0.56	0.28
合计	99.62	0.85	100.02	1.15

注:STD-标准偏差,AVG-平均含量

1.3 矿物价值估计

得知检验标本里的独居石和磷钇矿的平均精矿量和尾矿总量,可以计算出金属的最大回采量。(基于这样的假设:进行的分离过程没有任何损耗)。然而,在确定印尼锡矿尾矿的数量时存在一些问题:锡矿分散、存在非法开采加工矿石的情况、已储存积累的尾矿规模和数量无法查明,这些原因致使尾矿资源的价值不易估计。

但据可靠数据,印尼约有 28,000 t 高质量(石英含量低)尾矿(只考虑了主要熔炉在锡矿矿石最后加工阶段的尾料)。据主要锡矿熔炉厂提供的数据(未公开的数据),尾矿的年最低产量 28,080 t。全面的野外调查表明,尾矿产量是 18,000 t 每年。从印尼锡矿买办角度进行统计,印尼约有 1000 多个买办控制锡矿,每人每月生产大约 100 t 尾料,因此一年可分离尾矿多达 1.20 百万 t,这一数据是表 7 计算的最大值。不过一些买办生产的尾矿中有相当数量的石英,因此尾矿级别要低于锡加工厂的尾矿。此外,印尼国有公司如 PT Timah 和 PTkoba Tin 存储的相当数量的尾矿早已卖给马来西亚。

考虑到上述因素,更现实的角度估计,每年可单独从邦加岛回采的独居石和磷钇矿共计 10,000 t。

临近的勿里洞岛(必拓)的矿山中稀土潜力研究最近也在推进。保守估计,印尼邦加岛每年最少可加工出 10,000 吨稀土元素金属(包括独居石和磷钇矿)。USGS(美国地质勘查局)报告称,世界年独居石精矿的产量是 6,000 t(除中国和印尼外)。因此,印尼锡矿尾矿会在国际矿产品市场中扮演重要角色。

表7 基于各种年尾矿产量下对年潜在的独居石
和磷钇矿供应的估计

Table 7 Estimation of annual potential for monazite
and yttrium mine supply based on annual tailings
production

矿物	产量 28 080 吨 时的年尾矿	产量 180 000 吨 时的年尾矿	产量 1200 000 吨 时的年尾矿
	产量/t	产量/t	产量/t
独居石	1 106	7 092	47 280
磷钇矿	696	4 464	29 760

2 印尼锡矿尾矿试验的启示

印尼锡矿尾矿中发现的稀土元素,对于解决稀土的来源问题及锡矿尾矿问题都是新的路径,对于能源的综合利用很有意义。我国位于亚欧板块、印度洋板块及太平洋板块三大板块交汇处,独特的地质构造使得矿藏共伴生性异常明显,矿产资源的综合开发利用是有效利用矿产资源、对矿产资源进行保护性开采、实现矿业的可持续发展的必经之路。结合我国实际,印尼锡矿尾矿试验可以给我们提供以下几个方面的思路:

2.1 挖掘尾矿资源利用

2.1.1 锡矿尾矿资源的利用

我国云南的云锡集团是世界上第一大锡矿产地,可以按照印尼锡矿的经验从锡矿的尾矿中寻找可以利用的稀土资源。云锡集团所属的很多矿山属于开发时间较长的老矿山,资源保障能力有限。云南的一些矿业城市,有锡都之名的个旧是典型的依矿而建的矿业城市,四矿问题突出。并且,据有关文献称我国广西云南等地有相当数量的沙锡矿,锡矿藏已知的伴生金属有铁、铅、锌、铜、钨、钼、锑、金、银、铋等^[1],可以对锡矿及锡矿尾矿进行资源评估,确定是否也同印尼锡矿一样有稀土等资源潜力,对于解决矿山的保障能力及矿业城市可持续发展问题是一条行之有效的路径。

2.1.2 包头稀土多金属矿藏尾矿资源的利用

对于我国第一大稀土矿,包头白云鄂博尾矿坝可以进行类似实验,评估尾矿中稀土资源的价值。

白云鄂博矿是以铁矿为主的多金属矿藏,长期以来开采的方式为以铁为主,稀土随铁开采^[2]。这种开采模式消耗了大量的资源,据相关文献描述,包头主要矿区的稀土资源的储量仅剩 $1/3$ ^[3],大量矿产资源未经处理进入尾矿库,导致稀土资源的利用率低下。并且,长期的以铁矿为主的开采产生了大量尾矿形成了尾矿坝,据有关数据称白云鄂博的尾矿坝中约有1.8亿t尾矿^[4],尾矿占用了大量的土地,开采中具有放射性的钍元素很难处理也成为废渣赋存在尾矿中,造成严重的环境污染及生态的破坏。这些尾矿中是否含有符合工业开采指标的稀土资源?可以通过进行类似印尼锡矿尾矿的试验来确定尾矿中是否具有可开采的资源价值。如果可以将尾矿资源化,不仅可以解决稀土的来源问题,而且可以解决尾矿占地,污染环境的问题,同时,也可以缓解已探明稀土资源减少的压力,甚至可以考虑,对于探明多金属矿藏暂停开采,采用进口铁矿石、消化尾矿库的方式,满足铁和稀土的供应所需。

2.1.3 我国特有的离子型稀土矿尾矿的综合利用

江西赣南和福建龙岩等地离子型重稀土资源是我国及世界所独有的重稀土矿藏,但其开采工艺造成的环境代价值得关注。可以对两地的离子型重稀土尾矿库也可以进行再评估,从而确定是否有可以开采利用的资源。离子型重稀土矿包含铽、镱、铥等重要金属,这些金属产量稀少又有非常重要的用途,且其他国家的储量较少,因而在世界占有重要地位。离子型重稀土矿以离子吸附形式存在,开采过程中采用堆浸工艺或池浸工艺,与其他开采工艺相比,开挖面积和堆放面积较大,并且会产生大量的氨氮、重金属等污染物。离子型稀土尾矿的大量存在占用了大量的土地,破坏了当地的植被,对地表水、地下水和农田造成严重污染。离子型稀土尾矿造成的环境污染和生态破坏不容小觑,已成为制约当地经济发展的重要因素。如能对离子型稀土尾矿库中的尾矿矿物成分进行评估,看是否有可供再开发的资源对于治理环境污染,恢复生态环境,节约利用资源,使当地经济走上良性发展路径具有重要意义。

2.2 整合资本和资源,提升稀土技术含量和供应能力

2.2.1 以六大稀土集团整合为契机,驱动稀土开发的综合利用

我国稀土行业市场集中度低,企业众多,导致中国稀土行业呈现散沙式发展,低价恶性竞争及私挖盗采,要依靠资源和资本整合,才能引导我国稀土行业集约化发展。当前六大稀土集团资源在资源数量

上整合的同时,应考虑资源质量上的整合,充分挖掘可供利用的资源。六大稀土集团的区域整合有利于资源资产在空间上的匹配,包钢集团整合内蒙、甘肃;厦钨整合福建;赣州稀土整合江西;广晟整合广东;五矿整合五矿集团的稀土资产,中国铝业则可能会对广西、四川和山东的稀土矿产资源进行整合。六大稀土集团在各自领域内进行空间资产整合的同时,应当在战略上走资源的集约发展道路,从尾矿治理和综合利用入手,化解库存,进行技术工艺突破,提高资源综合利用率,减少资源需求压力。

2.2.2 构建稀土全球工业链,以产业转移驱动产业升级

在国内行业进行资源和资本整合提升的同时要探索资源的全球配置道路,构建稀土全球供应链,适时进行产业转移。印尼锡矿尾矿中含有稀土资源,相似地质构造的其他国家或地区是否也有类似的矿藏可供利用。全球相当地区存在尾矿堆积占地、环境污染及生态破坏问题,探究尾矿中的可利用成分并进行综合利用,既可以帮助当地解决资源开发带来的环境问题,也会成为资源利用的新出路。在资源全球配置过程中,我国可以采用直接投资、参股、控股、科技合作等多种形式。

2.2.3 整合稀土勘查开采及加工技术,助推产业升级。

以地勘单位、企业为技术转化主要阵地,及时将新的理念、新的技术、新的方法、新的设备运用到勘查开发中。整合高校、科研院所的科研能力,鼓励建立稀土新来源探索的国家级实验室,促进产学研一体化,推进稀土勘查理论稀土开采加工技术的自主创新,促进找矿和开发及加工理念、技术、方法、设备的创新。

2.3 采取有效措施,鼓励稀土资源的综合利用

2.3.1 要加大对稀土综合利用政策倾斜力度

从近期经济利益角度,综合利用作为一种新的理念,经济成本会高于原有生产经营模式,但是,从长远的社会福利角度,考虑开发的外部性,开发的社会成本和环境成本,稀土综合利用对于保护稀土资源、治理和修复稀土开采造成的环境影响、扩大稀土资源的来源、提高稀土利用能力都十分有益。因而,建议国家探索稀土资源新来源及稀土资源的综合利用科研项目进行专项财政拨款,对于从事探索稀土资源新来源及稀土资源综合利用的企业给予税收减免优惠,对于通过尾矿回收加工的稀土矿产品给予减免资源税及矿产资源补偿费等措施,利用经济杠杆引导科研单位、企业参与稀土综合利用。

2.3.2 以国家立法形式,鼓励稀土综合利用行为

在制定稀有金属保护法中,可以考虑对稀土综合利用、回收利用行为进行支持,优先给予稀土综合利用的企业配置探矿权、采矿权。倡导稀土开采行为采取利于环境的开采工艺、开采技术、开采设备,并给于权利方面的优先保证。将企业提高采矿回收率、选矿回收率、综合利用率作为法定义务予以规定。建立企业进入、生产经营活动全过程的环境门槛,将环境影响评价贯穿企业生产经营活动始终。同时禁止稀土的破坏性开采,加大打击私采、盗采稀土、稀土走私等不法行为的打击力度。与其他现行法律配合,从国家立法高度形成对稀土资源的有效保护和合理开发利用的法律体系。

参考文献:

- [1] 刘光亮,秦德先,范柱国. 云南省锡矿资源与可持续发展[J]. 矿产保护与利用,2005(02):9-13
- [2] 程建忠,车丽萍. 中国稀土资源开采现状及发展趋势[J]. 稀土,2010(02):65-69,85.
- [3] 中国稀土状况与政策白皮书. 中华人民共和国国务院新闻办公室.
- [4] 包头钢铁(集团)有限公司. 白云鄂博铁矿主、东矿及厂区分选厂和尾矿库环境现状评价. <http://www.btsteel.com/>
- [5] 崔荣国,刘树臣. 我国锡矿资源状况及国际竞争力分析[J]. 国土资源情报,2010(08):29-33.
- [6] 郭财胜,李梅,柳召刚,张栋梁,高凯. 白云鄂博稀土、铌资源综合利用现状及新思路[J]. 稀土,2014(01):96-100
- [7] 肖勇,韩胜利. 国内稀土产业发展不对称现象初探[J]. 稀土,2013(01):98-102.
- [8] 陈桂荣,曾向东,黎巍,袁艳梅,周圆圆. 金属矿山土壤重金属污染现状及修复技术展望[J]. 矿产保护与利用,2010(02):41-44.
- [9] 曹献珍. 国外绿色矿业建设对我国的借鉴意义[J]. 矿产保护与利用,2011(21):19-23.
- [10] 苏东水. 产业经济学(第二版)[M]. 北京:高等教育出版社,2011
- [11] 曼昆著梁小民译. 经济学原理[M]. 北京:北京大学出版社,2006.
- [12] USGS. The principal rare earth elements deposits of the united states A summary of domestic deposits and a global Perspective[EB/OL]. (2010-11-08). <http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5220>.
- [13] Marc Humphrie. Rare Earth Elements: the Global Supply Chain. Congressional Research Service.
- [14] USGS. Mineral Commodity Summaries 2015.
- [15] Szamalek, K (Szamalek, Krzysztof) [1]; Konopka, G (Konopka, Gustaw); Zglinicki, K (Zglinicki, Karol) [2]; Marciniak - Maliszewska, B (Marciniak - Maliszewska, Beata) [1]. New potential source of rare earth elements. gospodarka surowcami mineralnymi-mineral resources management(2013-0041).

New Approach to the Comprehensive Utilization of Rare Earth- the Revelation of the Tin Mine Tailings Test at the university of Warsaw

He Miao, Zhou Jinsheng

(China University of Geosciences, Beijing, China)

Abstract: The whole world is focus on saving and comprehensive utilization of mineral resources. Also our country is paying great attention to saving and comprehensive utilization in mineral resources in the next five years developing planning. Recently, there are a lot of pressures on resources, environment and ecology in the development of rare earth resources in China co-instant in the sharp reserves declinations. So as to guarantee the dominance of rare earth resources in our country and the initiatives in the international market we need to explore innovative ways to utilize and develop rare earth resources. Warsaw University (Poland) and the PT Bumi Bangka Makmur exploring company cooperatively conducted a research on Indonesian tin tailings. The study indicates that the tailings in Bangka Indonesian tin has the potential of rare earth resources comprehensive utilization. This research estimates that at least 10000 tons metal which contains rare earth elements (including light rare earth resources monazites and heavy rare earth resources yttrium phosphor minerals) can be produced one year in the Indonesian. We can reference the ideas and methods to solve the problems in comprehensive utilization of mineral resources in our country, to realize a breakthrough in prospecting rare earths elements from the tailings and a breakthrough in tailings utilization technology and innovation a green barrier export restrictions. Also we can find ways to dissolve negative externalities in the resources development and optimize the environmental management of mining areas.

Keywords: Tin tailings; Rare earth elements; Comprehensive utilization