

内蒙古白云鄂博稀土资源开发利用 生态环境影响成本分析

王爱云^{1,2)}, 李以科^{1,2)*}, 李瑞萍^{1,2)}, 冯雪梅³⁾

1)中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 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;

3)北京国际职业教育学校, 北京 100006

摘要: 稀土资源开发利用所造成的环境污染和生态破坏严重制约了我国稀土行业的可持续发展。本文以白云鄂博稀土资源开发为例, 在定量分析包头稀土采选冶过程中的废气、废水、废渣等污染物排放情况的基础上, 开展稀土资源开发环境成本分析, 并以 2010 年为基准年进行基于虚拟治理成本的定量计算。结果显示, 2010 年白云鄂博稀土资源开发利用总环境外部成本为 11 652.1 万元, 折合到每吨稀土产品(REO)为 2 335 元。虽然受数据、研究方法的限制和参数选取的准确程度的影响, 本次核算结果具有一定程度的不确定性, 但是本研究结果可以为实现稀土资源的合理开发、价格制定以及环境保护提供参考依据。

关键词: 白云鄂博稀土; 环境污染; 虚拟治理成本

中图分类号: P618.7; X50 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2017.01.14

Environmental Cost Analysis of the Development and Utilization of the Bayan Obo Rare Earth Resources, Inner Mongolia

WANG Ai-yun^{1,2)}, LI Yi-ke^{1,2)*}, LI Rui-ping^{1,2)}, FENG Xue-mei³⁾

1) *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources,
Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;*

2) *Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;*

3) *Beijing International Vocational Education School, Beijing 100006*

Abstract: The development and utilization of rare earth resources have brought many ecological environment problems, which restrict the sustainable development. Based on the quantitative analysis of waste gas, waste water and waste residue in the process of rare earth mining and metallurgy in Baotou, the authors studied the environmental cost of rare earth resources development. The year 2010 was selected as the base year, and the quantitative calculation based on the virtual disposal cost was carried out. The total environmental external cost of Bayan Obo rare earth resources development and utilization was 116.52 million Yuan in 2010, corresponding to 2 335 Yuan for every ton of rare earth product (REO). Due to the limitations of data, methods and parameters, the results have a certain degree of uncertainty. Such results will offer technical supports for exploitation, pricing and environmental protection.

Key words: Bayan Obo rare earth; environmental pollution; virtual disposal cost approach

本文由本文由环保部公益性行业科研专项(编号: 2013467043)和中国地质调查局地质大调查项目(编号: 1212011220870; 12120114077201)联合资助。

收稿日期: 2016-03-01; 改回日期: 2016-04-20。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 王爱云, 女, 1980 年生。助理研究员。主要从事矿山环境和遥感地质研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68999509。E-mail: wangaiyun@cags.ac.cn。

*通讯作者: 李以科, 男, 1983 年生。博士, 助理研究员。主要从事金属成矿规律与成矿规律预测研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68999512。E-mail: like430@cags.ac.cn。

稀土是我国重要的优势矿产,自 20 世纪 70 年代末以来,我国稀土产业快速发展,目前稀土储量、产量、消费量、出口量均居世界第一位(孟弘和李振兴,2011)。内蒙古白云鄂博氟碳铈矿-独居石混合型稀土矿是我国稀土资源的重要组成部分。它是世界最大的轻稀土矿,占全国稀土工业储量的 83.7%,产量是全国稀土生产量的 52.7%(朱祥和孙剑,2012; 吴一丁和钟怡宏,2014)。由于稀土原材料资源丰富,目前包头市已经成为全国最大的轻稀土原材料产品的生产基地和供应基地,冶炼分离产品产量占全国总产量的 68.3%。

稀土资源采矿、选矿及冶炼等不同开发利用环节产生不同程度和不同类型的生态环境问题。如采矿往往会带来景观破坏、地质灾害、耕地占用、废气、废水、废渣和放射性污染问题(马伟等,2015)。长期以来我国稀土价格未体现其开发利用的外部生态环境成本。环境外部成本,指稀土采选、冶炼分离过程中排放的废气、废水和固废的所造成的环境污染损失的价值量。这不仅导致我国稀土价格长期低迷,低于世界平均价格,而且由于环境外部性没有内部化也导致或进一步加剧了严重的生态环境问题。

环境成本是一个重要的会计要素,许多学者对其概念进行了研讨。如 Therivel 等(1992)和 Vaughn(1995)都提出了各自的定义。Therive 等(1992)从经济学的角度看,环境成本是指被经济过程所使用的环境货物与环境服务的价值。Vaughn(1995)认为,从经济角度看,环境成本是指被经济过程所使用的环境货物与环境服务的价值;从环境角度看,它是指同经济活动造成的自然资源实际或潜在恶化有关的成本。1998 年 ISAR 通过的《环境会计和报告的场公告》中认为环境成本是企业为了保持生态环境、避免环境破坏,而采取的为管理和控制生产过程中产生的环境成本而付出的代价,以及企业为了达到环境成本管理这一目标而发生的其他相关支出。郭道扬(1997)认为,“环境成本是以维护生态环境为目标,充分考虑在产品生产前后对生态环境所产生的影响,按照所测定的人力劳动消耗,自然资源消耗标准,对产品投入进行计量,并列计所必须的资源消耗与环境治理补偿性费用,这些资源消耗与环境治理费用便是环境成本”。

目前稀土资源开发利用的环境成本已经逐渐引起学术界的关注。苏文清(2004)以包头钢铁(集团)有限责任公司稀土为例,试图在考虑资源和环境成本的情况下对中国稀土成本与效益做详细的分析,提出了应把稀土资源成本和环境成本内部化的建议;曾先峰等(2012)基于完全成本核算了 2008—2010 年碳酸稀土的理论价格,指出碳酸稀土的国内价格严

重偏离其理论价格;赖丹和王黄茜(2014)认为目前稀土企业现行成本核算不完全,稀土价格过低且资源价格没有真实反映资源价值;吴一丁和钟怡宏(2014)认为环境成本在稀土成本中体现不完全,稀土价格低于其真实成本和内在价值。

由于稀土行业是一个敏感性极高的行业,稀土生产企业的具体财务数据和污染物排放数据获取极为困难,从而使得多为宏观层面的定性研究,较少为微观层面的定量研究。尤其关于白云鄂博稀土资源开发利用成本核算的研究文献较少。本文在对白云鄂博稀土资源开发利用特征充分分析的基础上,开展生态环境环境成本影响分析,计算开发利用过程中的环境外部成本,为完善稀土资源价格形成机制提供支撑,为有关政策制定提供科学依据。

1 白云鄂博稀土资源开发利用的主要生态环境问题

白云鄂博稀土矿位于内蒙古自治区包头市达茂旗内,包头市以北 150 km 处,矿区荒漠草原植被群落结构简单,草层低矮、稀疏。它是稀土与铁、铈、钍等元素共生的综合矿床,其采矿、选矿和冶炼分离具有独特的过程。白云鄂博矿采用常规爆破和地下、露天采掘方式开采,稀土矿随铁矿开采。开采固体剥离物直接运往内、外排土场进行排弃(图 1)。原矿经破碎后,通过铁路运输到包钢选矿厂,采用弱磁→强磁→浮选联合选矿工艺生产铁精矿。选铁后的强磁中矿和尾矿中,稀土得到富集,稀土氧化物平均含量达到约 10%。稀土高科稀选厂以强磁中矿和尾矿矿浆为原料,采用三段浮选工艺生产含 REO 30%~60% 的各品级稀土精矿(曹永丹等,2013)。

目前,由于白云鄂博并不专门开采稀土,在开采铁矿的同时,将其围岩中的稀土白云岩单独转运至北排土场、南排土场南区、和北排土场东侧堆存保护。白云鄂博矿开采过程中的废水不外排。粉尘主要影响采坑内的作业环境,对外环境影响不大。故白云鄂博稀土开采过程中的主要污染物是固废。稀土选矿是在铁矿选矿过程选矿过程中选冶部分稀土氧化物,剩余的全部稀土矿随尾矿泥一同排入包钢尾矿库堆存保护。稀土冶炼、萃取分离生产过程中,使用大量的酸碱、萃取剂等化工原材料,产生大量的废气、废水、废渣。

1.1 废气

白云鄂博稀土选矿以包钢选矿厂强磁中矿和尾矿矿浆为原料,采用浮选工艺生产,无废气产生。目前约 20% 的包头矿采用碱法,80% 采用硫酸法进行冶炼。其中废气主要产生于硫酸法,碱法氯化

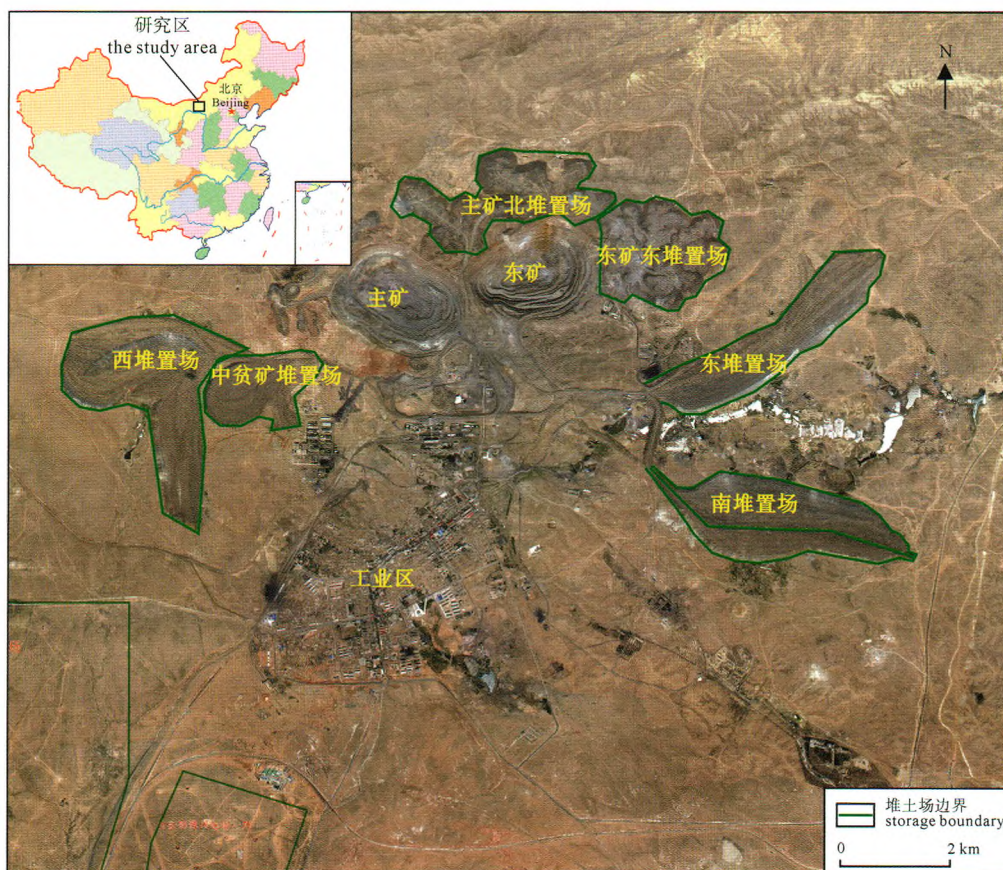


图 1 白云鄂博主、东矿及堆置场示意图

Fig. 1 Distribution of Bayan Obo rare earth mineral deposits

稀土、萃取分离生产稀土氧化物工艺中有少量废气排放。白云鄂博稀土矿冶炼过程中产生废气，主要包括浓硫酸高温焙烧稀土精矿产生的焙烧尾气和稀土草酸盐或碳酸盐高温灼烧时产生的灼烧烟气。

焙烧尾气产生于浓硫酸焙烧稀土精矿过程，浓硫酸强化焙烧过程产生焙烧的尾气中主要污染物为 SO_2 、烟尘、硫酸雾、氟化物和氮氧化物，每焙烧1 t精矿产生约30 000 m^3 焙烧尾气，排出的硫酸雾约360 kg，含氟70 kg。对焙烧尾气的治理，目前国内企业一般采用三级喷淋净化工艺或酸回收净化工艺。

灼烧烟气是稀土碳酸盐或草酸盐在炉窑内高温灼烧时产生的，燃料主要有原煤和煤气两种。原煤灰份含量为3.41%，硫含量为0.41%；每产生1 t氧化物耗煤量为1.5 t，产生二氧化硫20.5 kg。若选用煤气为燃料，二氧化硫和烟尘产生量较小（《稀土工业污染物排放标准》编制组，2009）。

1.2 废水

稀土选矿过程无废水外排。废水来自稀土冶炼各生产工序，主要包括为其喷淋废水、污染物有氨氮、氟、磷、固体悬浮物(SS)等。平均处理1 t REO，共约产生70 t废水。

包头地区各家稀土企业每年产生的各类废水

万方数据

约1 000万吨。废水中的含氮量约5 g/L，超出国家《污水综合排放标准》(GB8978—2006)规定的氨氮二级排放标准(25 mg/L)近200倍。废水大部分未经有效治理排放，不仅给生活饮用水造成污染，对周围水域环境和引灌农田也产生污染。

1.3 固废

采矿产生的尾矿堆置在白云鄂博排岩场，选矿产生的尾矿排入包钢尾矿库，冶炼过程中产生的固体废弃物包括含钍放射性废渣和石灰中和废渣放入放射性废物储存转库。包钢尾矿库投入使用至今近50年之久，全长12 km，占地面积约11 km^2 。目前已累计存贮尾矿1.73亿吨，其中稀土约0.93亿吨，是世界上最大的“稀土湖”（王建宏，2011）。尾矿库是在平地建起来的，处于干燥、少雨、多强风的环境，虽然水封面积约占1/2，仍易产生扬砂。尾矿坝下风向东南方位，周围土地环境常年受尾矿扬尘覆盖，不仅浪费稀土资源，也使土壤受到放射性污染。尾矿坝以南约10 km是黄河，是由于坝中水渗漏，使东边和南边大片土地因盐碱化被迫放弃耕种和放牧。

2 白云鄂博环境成本分析

目前国家尚未制定统一的环境成本核算标准，

各工业企业根据不同的理解和方法来核算环境成本。本文根据白云鄂博稀土资源开发利用的特点选择核算方法和单位治理成本参数。

2.1 环境成本核算方法

国际上评估环境价值主要方法有：(1)以污染物造成损害的价值作为计量基础，例如欧盟的影响径法(Bickel and Friedrich, 2005)；(2)以污染的清除与损失弥补成本作为计量基础；(3)以污染防治的成本作为计量基础(李虹和董亮, 2011)。本文对包头稀土开发利用进行污染物实物量核算和环境污染价值量核算。环境污染实物量是指的整理和统计地区/企业稀土资源开发的各类污染物产生量和排放量，数据来源于污染源普查、统计年鉴、现场调查等。环境污染成本利用基于成本的估价方法，假设对污染物进行治理并使之消除，使环境“复原”到起初退化前的状态，以治理过程中需要的成本作为环境外部成本的估计值，即对虚拟治理成本的估算。虚拟治理成本不是环境退化的真实成本，因为治理成本法在计算时忽视了生态破坏、环境污染造成的污染损失，因此，采用治理成本法的核算结果只是环境外部成本的“最低值”。虚拟环境治理成本的公式如表1所示。

2.2 单位治理成本的选取

污染物单位治理成本的确定是基于虚拟治理成本法的环境成本核算的关键，目前确定污染物单位治理成本方法有三种。第一种是污染物边际处理费用法(叶寒栋和李宇红, 2003)，在有充分的统计资料的情况下，确定的污染物单位治理成本具有很高的精确性。第二种是雷明(1996)和王德发等(2005)的排污费标准表征法，认为在无法获得所有污染物的单位治理成本时，可以采用污染物排放收费标准来替代，这种方法对统计资料要求不高，在确定调节系数后，确定污染物的单位治理成本简单易行，但结果相对粗略。并且认为排污收费标准不能等同于环境价值标准，前者远小于后者，如果用排污收费标准来替代污染物单位治理成本，势必会造成环境污染成本的低估(魏学好和周浩, 2003)。第三种是引入处理设施效益的概念计算治理成本系数法，以及彭武珍(2013)提出修正后的治理成本系数法核算

虚拟成本，根据企业的实际情况确定污染物的单位治理成本(杨金田和王金南, 1998)。

本文所采用的污染物虚拟单位治理成本来源于来自《中国环境经济核算报告：2007—2008》(於方等, 2013)和《中国环境经济核算技术指南》(於方等, 2009)、2003年7月1日开始实施的《排污费征收使用管理条例》(中华人民共和国国务院(第369号))。以上均没有数据，则按照排污收费中的当量法计算所得。本文所采用的污染物虚拟治理成本参数说明如下。

废气污染物主要指标的单位治理成本：SO₂的单位治理成本为1112元/t、烟尘为185元/t、粉尘为305元/t、氮氧化物为4013元/t(於方等, 2013)、氟化物为522元/t(中华人民共和国排污费征收标准及计算方法)。

废水污染物主要指标的单位治理成本：化学需氧量COD为4800元/t、石油类是2164元/t、氨氮为270元/t(马国霞等, 2014；於方等, 2009)、氟化物为350元/t、总氮是5454元/t。

固体废弃物主要是选矿所产生的尾矿。工业固废中一般固废的处置单位治理成本为22元/t，储存单位治理成本为4.5元/t。

2.3 白云鄂博稀土开发利用环境成本核算

根据前文对白云鄂博稀土资源开发利用各环节的主要污染物，依据公开发表的文章及相关报告等，对不同来源数据进行汇总分析，获得2010年白云鄂博稀土资源开发利用中的污染物年排放量数据。

2.3.1 废气

一般来讲，稀土大气污染物包括颗粒物、二氧化硫、氟化物、氯气、氯化氢、氮氧化物等。其中具有代表性的污染物有SO₂和NO_x，氟化物是包头市的特异性污染物，这是因为白云鄂博稀土精矿中含萤石(CaF₂)(周颜宏和李俊飞, 2015)。植物富集大气中的氟使植物叶片氟浓度增大到大气氟浓度100万倍，使牛、羊等对氟敏感的草食家畜在很低的大气氟浓度地区发生长牙病。郑宝山(1983)认为包头地区是一个地下水、土壤本底值高的地区，氟污染是本底和第二环境叠加的效果。

表1 虚拟治理成本法公式表达
Table 1 Formula expression for virtual disposal cost

方法名称	公式表达	符号含义
虚拟治理成本法	$C = \sum_{i=1}^n \bar{C}_i \cdot Q_i$	C-虚拟治理成本； $\bar{C}_i$ -每种污染物的单位治理成本； Q_i -每种污染物的排放量； i -污染物的类别
污染物单位治理成本	$C_i = \frac{C \cdot \frac{I_i - E_i}{S} \cdot \frac{E_i}{I_i} / \sum (\frac{I_i - E_i}{S_i} \cdot \frac{E_i}{I_i})}{(I_i - E_i) \cdot M}$	E_i -第 <i>i</i> 种污染物的出口浓度； I_i -第 <i>i</i> 种污染物的进口浓度； S_i -污染物的排放标准； M -残余物总量； i -污染物离类别

大气污染虚拟治理成本= $\sum_{n=1}^5$ 污染物排放量×污染物单位治理成本

式中, n 为二氧化硫、氮氧化物、烟尘、粉尘和氟化物 5 种污染物。

2010 年白云鄂博稀土资源开发利用废气主要污染物排放量及虚拟治理成本具体见表 2。

2.3.2 废水

水污染虚拟治理成本是指对排放至水体中的污染物进行完全消除所需要的成本, 虚拟治理成本计算公式为:

废水污染虚拟治理成本= $\sum_{n=1}^5$ 污染物排放量×污染物单位治理成本

式中, n 为化学需氧量、氨氮、氟化物、总氮、石油类 5 种污染物。

2010 年白云鄂博稀土资源开发利用废水主要污染物排放量及虚拟治理成本具体见表 3。

2.3.3 固废

一般工业固废虚拟治理成本=处置储存固废虚拟治理成本+处置排放固废虚拟治理成本; 其中: 处置储存固废虚拟治理成本=储存量×(处置单位治理成本-储存单位治理成本); 处置排放固废虚拟治理成本=排放量×处置单位治理成本。

2010 年白云鄂博堆存稀土白云岩 909 万吨, 按照一般固废计算, 虚拟治理成本是 35 895 万元。

目前包钢用含稀土 8.9%的选铁尾矿直接选稀土精矿, 选矿回收率约为 39.6%。则产生 1 t 品位约 50%的稀土精矿需要大约 14 t 尾矿。依据每年的稀土矿产量, 计算选稀土产生的尾矿。

2010 年白云鄂博因稀土选矿产生尾矿 65.8 万吨, 均排放在稀土尾矿库。按照一般固废计算, 虚拟治理成本是 2 599 万元。

当然, 包钢选矿厂每年向尾矿库排入的尾矿远远大于上表所述, 例如包钢选矿厂 2010 年排尾矿 841.37×10^4 t(包括强磁中矿和强磁尾矿选矿后的尾砂)。本文所计算的固废为选稀土后的尾矿, 其他尾矿认为是铁矿所产生。

综上, 2010 年白云鄂博稀土开发利用总环境外

部成本是 39 965 万元, 其中固废拟治理成本占 96.3%。

2010 年白云鄂博稀土矿产品 49 900 t(REO), 计算得到每吨 REO 的虚拟治理成本是 8 009 元。2010 年 4 月 12 日年 REO(42%~45%)的国内参考价是 16 500~17 500 元/t(上海现货稀土价格行情), 取均值 17 500 元/t。考虑稀土虚拟环境治理成本后, 2010 年 REO 的理论价格应为 25 509 元/t, 比国内价格高 47.1%。

3 讨论与结论

3.1 不确定性分析

本文的成本核算结果存在不同程度的不确定性, 主要是由于以下原因: (1)基础数据的可获得性差, 大多数企业和部门不愿意提供真实具体的污染物排放数据; (2)参数选取参照国内外权威研究成果, 每个指标选取的准确性及合适程度; (3)研究方法的限制, 价值量核算方法具有局限性, 数学模型具有概率偏差。因此本文的核算结果与实际成本存在一定差异。

3.2 计算结果是环境成本的下限值

在数据来源有限的情况下, 本文计算的前提条件是假设以目前的技术水平, 排放到环境中的污染物所需治理的成本与污染排放造成的危害相等, 忽视污染排放对环境功能造成的损失。因此本文所计算的白云鄂博稀土资源开发利用环境成本低于环境退化的真实成本。本文得到的是稀土资源开发环境成本的最低值, 是白云鄂博稀土冶炼环境外部成本的下限。在实际区域/企业核算中, 可综合考虑虚拟治理和污染损失指标, 核算稀土资源开发环境污染成本的区间值。

3.3 结论

白云鄂博稀土资源的环境成本主要表现为“三废”产生后的虚拟环境治理成本。在分析白云鄂博轻稀土资源开发概况、开发利用中对生态环境的影响的基础上, 基于 2010 年的基数利用治理成本

表 2 废气主要污染物排放量及虚拟治理成本
Table 2 Major pollutants and virtual disposal cost of waste gas

	合计	二氧化硫	烟尘	粉尘	氟化物	氮氧化物
排放量/t	12 2963.4	574.25	460.04	355.72	499.1	300.29
虚拟治理成本/万元	229.78	63.86	8.51	10.85	26.05	120.51

表 3 废水主要污染物及虚拟治理成本
Table 3 Major pollutants and virtual disposal cost of waste water

	废水排放量	主要污染物				
		化学需氧量	氟化物	氨氮	总氮	石油类
排放量/t	$1\ 000 \times 10^4$	153.38	102.41	4 769.15	1 898.01	0.59
虚拟治理成本/万元	1241.28	73.62	3.58	128.77	1 035.17	0.13

法对稀土资源开发利用的环境污染价值进行核算。核算结果表明, 2010 年白云鄂博稀土开发利用总环境外部成本是 39 965 万元, 其中固废的虚拟治理成本占 96.3%。考虑到稀土虚拟环境治理成本后, REO 理论价格应为 25 509 元/t, 比国内价格高 47.1%。

我国现行稀土定价体制没有完全体现生态环境外部成本, 价格低于其真实成本和内在价值。稀土资源定价机制的不完善使得加剧了稀土开发的生态环境日趋恶化。虽然受于数据、研究方法的限制和参数选取的准确程度, 本文核算结果具有一定程度的不确定性; 但是本次计算方法和结果可以定量揭示稀土资源开发过程中环境成本与稀土的内在联系。以本文计算的稀土理论价格为依据, 提高稀土资源价格, 实现稀土资源开发的生态环境成本内部化, 从而加快推进稀土定价机制改革, 并为环境保护提供参考依据。

致谢: 作者谨向中国地质科学院王安建教授在写作中提供的帮助表示衷心感谢。

Acknowledgements:

This study was supported by the Special Scientific Research Fund of Public Welfare Profession of Ministry of Environment of the People's Republic of China (No. 2013467043), and China Geological Survey (Nos. 1212011220870 and 12120114077201).

参考文献:

- 曹永丹, 曹钊, 李解, 屈启龙, 王介良. 2013. 白云鄂博稀土浮选研究现状及进展[J]. 矿山机械, 41(1): 93-96.
- 曾先锋, 李国平, 王海洲. 2012. 基于完全成本的碳酸稀土理论价格研究-兼论中国稀土资源定价机制改革[J]. 财经研究, 38(9): 134-144.
- 郭道扬. 1997. 绿色成本控制初探[J]. 财会月刊, 5: 3-7.
- 赖丹, 王黄茜. 2014. 完全与不完全成本下的稀土企业收益比较研究: 以南方离子型稀土企业为例[J]. 中国矿业, 23(1): 50-53.
- 雷明. 1996. 资源-经济投入产出核算[J]. 经济科学, (1): 42-51.
- 李虹, 董亮. 2011. 发展绿色就业提升产业生态效率-基于风电产业发展的实证分析[J]. 北京大学学报(哲学社会科学版), 48(1): 109-118.
- 马国霞, 於方, 齐霁, 王金南. 2014. 基于绿色投入产出表的环境污染治理成本及影响模拟[J]. 地理研究, 33(12): 2335-2344.
- 马伟, 徐素宁, 王润生, 赵珍梅, 文元亮. 2015. 基于证据权法的赣南稀土矿山地质环境评价[J]. 地球学报, 36(1): 103-110.
- 孟弘, 李振兴. 2011. 关于我国稀土产业发展的战略性思考[J]. 科技管理研究, 16: 29-31.

- 彭武珍. 2013. 环境价值核算方法及应用研究[D]. 浙江: 浙江工商大学.
- 《四川稀土》编辑部. 2010. 上海现货稀土价格行情[J]. 四川稀土, (1): 32.
- 苏文清. 2004. 中国稀土产业竞争力评价和分析(续)[J]. 稀土, 25(6): 91-99.
- 王德发, 阮大成, 王海霞. 2005. 工业部门绿色 GDP 核算研究——2000 年上海市能源-环境-经济投入产出分析[J]. 环境科学研究, (1): 53-56.
- 王建宏. 2011. 包钢尾矿坝外源稀土积累区土壤微生物特征研究[D]. 内蒙古: 内蒙古师范大学.
- 魏学好, 周浩. 2003. 中国火力发电行业减排污染物的环境价值标准估算[J]. 环境科学研究, (1): 53-56.
- 吴一丁, 钟怡宏. 2014. 环境成本对稀土企业收益的影响[J]. 会计之友, 管理论坛, (5): 15-18.
- 杨金田, 王金南. 1998. 中国排污收费制度改革与设计[M]. 北京: 中国环境科学出版社.
- 叶寒栋, 李宇红. 2003. 污染减排的合理补偿方法的探究[J]. 华东电力, (6): 11-13.
- 於方, 马国霞, 齐霁, 王金南. 2013. 中国环境经济核算报告: 2007-2008[M]. 北京: 中国环境科学出版社.
- 於方, 王金南, 曹东, 蒋洪强. 2009. 中国环境经济核算技术指南[M]. 北京: 中国环境科学出版社.
- 《稀土工业污染物排放标准》编制组. 2009. 《稀土工业污染物排放标准》编制说明征求意见稿[S]. 北京: 环境保护部: 28-29.
- 郑宝山. 1983. 包头地区氟的表生地球化学[J]. 地球化学, 4: 373-379.
- 周颜宏, 李俊飞. 2015. 包头市工业大气氟化物排放对城区环境影响研究[J]. 环境与发展, 27(2): 36-41.
- 朱祥坤, 孙剑. 2012. 内蒙古白云鄂博矿床的稀土矿化时代与期次[J]. 地球学报, 33(6): 845-856.

References:

- BICKEL P, FRIEDRICH R. 2005. ExternE: Externalities of Energy: Methodology 2005 Update[M]. Luxembourg: European Commission, Directorate-General for Research, Sustainable Energy Systems.
- CAO Yong-dan, CAO Zhao, LI Jie, QU Qi-long, WANG Jie-liang. 2013. Current study situation and development on flotation of rare earth in Bayan Obo Mine[J]. Mining Machine, 41(1): 93-96(in Chinese with English abstract).
- Editorial Office of Sichuan Rare Earth. 2010. Shanghai Spot price of rare earth prices[J]. Sichuan Rare Earth, (1): 32(in Chinese).
- GUO Dao-yang. 1997. Research on Green Cost Control[J]. Monthly journal of accountin, 5: 3-7(in Chinese).
- LAI Dan, WANG Huang-qian. 2014. Benefit comparison between the full and incomplete costs of rare earth enterprise: take ion-type rare earth enterprise in southern of China as an example[J]. China Mining Magazine, 23(1): 50-53(in Chinese with English abstract).

- LEI Ming. 1996. Resource economic accounting of input and output[J]. *Economic Science*, (1): 42-51(in Chinese).
- LI Hong, DONG Liang. 2011. Promoting green employment and enhancing the eco-efficiency of the Industry: An empirical study based on wind energy industry[J]. *Journal of Peking University(Philosophy and Social Sciences)*, 48(1): 109-118(in Chinese with English abstract).
- MA Guo-xia, YU Fang, QI Ji, WANG Jin-nan. 2014. Simulation of pollutant control cost and its economic impact based on China's green input-output table[J]. *Geographical Research*, 33(12): 2335-2344(in Chinese with English abstract).
- MA Wei, XU Su-ning, WANG Run-sheng, ZHAO Zhen-mei, WEN Yuan-liang. 2015. Geo-environmental Quality Assessment of Rare-earth Mines in Southern Jiangxi Province Using Weights-of-evidence Modeling[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 36(1): 103-110(in Chinese with English abstract).
- MENG Hong, LI Zhen-xing. 2011. Strategic thinking on the development of China's rare earth industry[J]. *Science and Technology Management Research*, 16: 29-31(in Chinese with English abstract).
- PENG Wu-zhen. 2013. Research on method development and application about accounting of environment value[D]. Zhejiang: Zhejiang Gongshang University(in Chinese with English abstract).
- Rare Earth Industry Pollutant Emission Standard Group. 2009. Rare earth industry pollutant emission standard Draft for comments[M]. Beijing: Ministry of Environment of the People's Republic of China: 28-29(in Chinese).
- SU Wen-qing. 2004. Evaluation and analysis of the competitiveness of China's rare earth industry(continuation)[J]. *Chinese Rare Earths*, 25(6): 91-99(in Chinese).
- THERIVEL R, WILSON E, THOMPSON S, HEANEY D, PRITCHARD D. 1992. Strategic Environmental Assessment[M]. London: Earthscan Publication Ltd., 122-126.
- VAUGHN D. 1995. Environment-economic Accounting and Indicators of the Economic Importance of Environmental Protection Actives[J]. *Review of Income and Wealth*, 9: 21-28.
- WANG De-fa, LUAN Da-cheng, WANG Hai-xia. 2003. Study on the green GDP accounting in the industrial sector[J]. *Environmental Science Research*, (1): 53-56(in Chinese with English abstract).
- WANG Jian-hong. 2011. Study on characteristics of soil microbe in exogenous rare earths accumulation area of Baogang tailings dam[D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia Normal University(in Chinese with English abstract).
- WEI Xue-hao, ZHOU Hao. 2003. Evaluating the Environmental Value Schedule of Pollutants Mitigated in China Thermal Power Industry[J]. *Environmental Science*, (1): 53-56(in Chinese with English abstract).
- WU Yi-ding, ZHONG Yi-hong. 2014. Impact of environmental costs on the return of Rare Earth Enterprises[J]. *The Friend of the Accountant, Management Forum*, (5): 15-18(in Chinese).
- YANG Jin-tian, WANG Jin-nan. 1998. Reform and design of China's sewage charging system[M]. Beijing: China Environmental Science Press(in Chinese).
- YE Han-dong, LI Yu-hong. 2003. Compensation method for reduced pollution discharge[J]. *East China Electric Power*, (6): 11-13(in Chinese with English abstract).
- YU Fang, MA Guo-xia, QI Ji, WANG Jin-nan. 2013. China Environmental and economic accounting report: 2007-2008[M]. Beijing: China Environmental Science Press(in Chinese).
- YU Fang, WANG Jin-nan, CAO Dong, JIANG Hong-qiang. 2009. Technical guide for environmental economic accounting in China[M]. Beijing: China Environmental Science Press(in Chinese).
- ZENG Xian-feng, LI Guo-ping, WANG Hai-zhou. 2012. Theoretical price of rare earth carbonate based on full cost: Analysis on the reform of pricing mechanism of rare earth resources in China[J]. *Journal of Finance and Economics*, 38(9): 134-144(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Bao-shan. 1983. Surface geochemical of fluorine in Baotou area[J]. *Geochimica*, 4: 373-379(in Chinese).
- ZHOU Yan-hong, LI Jun-fei. 2015. Research on the urban atmospheric environment impact of industrial fluoride emissions in Baotou City[J]. *Environment and Development*, 27(2): 36-41(in Chinese with English abstract).
- ZHU Xiang-kun, SUN Jian. 2012. Ore-forming Epoch and Episodes of REE Mineralization in the Bayan Obo Ore Deposit, Inner Mongolia[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(6): 845-856(in Chinese with English abstract).