

赣南地区离子型稀土矿山水环境成本量化研究

郑明贵^{1,2}, 罗 婷^{1*}

(1. 江西理工大学 矿业贸易与投资研究中心, 江西 赣州 341000;

2. 中国科学技术大学 管理学院, 安徽 合肥 230026)

摘 要: 矿山项目环境成本核算对投资决策具有重要影响,这使得环境成本量化的规范性和可靠性具有更高的要求。水环境成本是离子型稀土矿山生产过程中的主要环境成本。本文以离子型稀土矿山水环境成本为研究对象,建立了水环境污染损失模型,并对赣南地区12个离子型稀土矿山水环境成本进行了量化;分析了离子型稀土矿山生产规模与水环境成本之间的关系,给出了两个计算公式,编制了不同生产规模下水环境成本速查表,根据矿山生产规模可以快速查找其水环境成本,为离子型稀土矿山水环境成本量化提供了极大便利。研究表明,12个离子型稀土矿山中,水环境成本最高的是A1稀土矿(6015.93万元/年),最低的是A7稀土矿(390.36万元/年);在相同单位生产规模下,全覆式稀土矿水环境成本约为裸脚式稀土矿的1.62倍。本文研究成果可以为离子型稀土矿山的成本核算提供依据,对稀土矿山投资决策及生产管理具有重要意义。

关键词: 离子型稀土矿;水环境;成本量化;赣南地区;污染损失

中图分类号: F426;X196

文献标识码: A

文章编号: 1004-0277(2019)05-0147-12

矿山项目中,水、大气、固体废弃物等污染物所引起的环境事故屡见不鲜,从加拿大Kam Kotia铜矿尾矿泄漏事故到巴西萨马科铁矿尾矿坝溃堤事件,从福建紫金矿业铜酸水渗漏事故到江西铜业下属的多家矿山常年违规排污事件等,一系列矿山环境污染问题向人类敲响警钟。究其原因,矿山环境资源的低成本或无偿使用,使得部分矿山企业通过以牺牲环境为代价换取了高额的利润收入,在企业

财务报表中几乎难以看到关于环境破坏和治理的相关费用支出。

《中华人民共和国环境保护法》(2014修订版)第十九条中明确规定:“在编制有关开发利用规划,以及建设对环境有影响的项目时,应当进行环境影响评价”。但在实践中,环境影响评价报告对生态环境系统的可持续性评价较少,评价的重点内容不突出。关于环境影响的描述性评价较多,而对环境

收稿日期:2019-03-09

基金项目:国家社会科学基金重点项目(18AGL002);江西省社会科学规划项目(17GL11);江西理工大学矿业贸易与投资研究中心2019年度招标课题(19KYB01);江西理工大学博士启动基金资助项目(jxxjbs18039)

作者简介:郑明贵(1978-),男,安徽颍上人,教授,博士,博士生导师,中国科学技术大学访问学者,研究方向为环境成本、矿业技术经济等方面。

* 通讯联系人(E-mail: zuotian182013@163.com)

DOI: 10.16533/J.CNKI.15-1099/TF.20190017

影响的经济损益分析不足,环境成本量化及货币化尚未形成共识。早在二十世纪八十年代,聂桂生就发现当时工业污水排放量比解放初期增加 30 多倍,水质污染极大地降低了水资源的使用价值^[1]。针对所存在的问题,夏光提出对环境污染带来的损害进行经济计量,统一以货币的形式来表达各种污染物所带来的损害程度^[2]。王喜莲指出矿产资源的开采存在严重的负外部性,环境损害已经严重影响到矿区的可持续发展,提出建设生态文明矿区^[3]。万林葳根据核算对象的不同,将环境成本计量模型分为单项污染物计量模型和多项污染物综合计量模型^[4]。鉴于此,要实现矿山的可持续发展,就应该将相关环境成本费用纳入生产成本中,将环境成本内部化。

由于水环境成本是离子型稀土矿山生产经营过程中的主要环境成本,本文以水环境成本量化为研究视角,基于国内外关于水环境成本研究成果,建立离子型稀土矿山水环境污染损失模型,并选取赣南地区 12 个离子型稀土矿为研究对象,对离子型稀土矿山水环境成本进行量化,进一步探究了离子型稀土矿山生产规模与水环境成本之间的关系。

本文的创新和贡献主要体现在:第一,从水环境污染经济损失原理出发,构建了水环境污染损失模型,并对离子型稀土矿山水环境成本进行测算,丰富并推进了矿山水环境成本量化的相关研究。第二,在分析不同矿体赋存矿山(全覆式稀土矿和裸脚式稀土矿)的水环境成本之后,建立了离子型稀土矿山生产规模与水环境成本模型,编制了水环境成本速查表,实现了离子型稀土矿山水环境污染损失的便捷估算,可以为离子型稀土矿山水环境影响评价、投资决策、生产管理以及环境保护等提供理论与方法支撑。

1 文献回顾

1.1 关于环境成本

1.1.1 国外环境成本的定义

国外关于环境成本的研究始于 20 世纪 70 年代。1971 年,F.A. Beams 和 P.E. Fertig 发表论文

“Pollution Control Through Social Cost Conversion”成为环境成本研究的起点^[5]。1973 年,J.T. Marlin 发表论文“Accounting for Pollution”,呼吁会计界制定考虑环境成本的社会绩效标准^[6]。由于环境成本研究涉及的学科领域众多,且国外学者的研究视角不同,环境成本定义的侧重点亦有所差异。根据环境成本的研究主体不同,大体可以从微观和宏观两个层面进行归类。

(1) 微观层面

微观环境成本是以企业为研究主体。代表性的观点有:荷兰国家统计局自 1979 年以来一直对工业企业的环境成本进行统计研究,环境成本被定义为“为防止某项设施对周围环境产生不利影响而采取的环境保护措施所消耗的成本”^[7]。《环境会计和报告的立场公告》指出,环境成本是本着对环境负责的原则,在企业生产经营过程中对环境造成影响而采取或被要求采取的措施而产生的费用以及企业为执行环境目标和要求而承担的其他成本^[8]。日本环境省颁布的《环境会计指南(2005 年版)》中,将环境成本定义为“环境成本是企业为保护环境而支付的投资和费用”^[9]。此类观点将环境成本定义为企业与环境相关的成本,包括企业因生产经营活动产生的治理成本或费用以及企业在环境保护上所消耗的经济成本。由此可见,环境成本是企业生产经营活动中产生的,纳入企业的总成本已成为一种必然趋势,如何对环境成本进行量化则成为微观环境成本的难点之一。

(2) 宏观层面

宏观环境成本的研究主体是国家或区域。代表性的观点有:1993 年联合国统计署(United Nations Statistics Division, UNSD)在“环境与经济综合核算体系”中提出,环境成本定义包括两个层次:一是由于自然资源质量下降以及数量减少导致其价值的降低;二是环境保护的实际支出,即防止环境污染而产生的成本以及改善环境和恢复自然资源而产生的费用^[10]。除研究机构外,部分学者认为,环境成本是指社会经济活动过程中因环境资产消

耗和生态环境破坏而使环境质量下降的代价,包括环境污染损失和治理费用^[11~14]。此类观点将环境成本定义为社会经济活动与环境相关的成本,包括自然资源价值的降低、环境恶化所引起的损失以及环境保护和治理成本。由此可知,因研究视角不同,宏观环境成本不能精准核算到单个企业,但宏观环境成本与微观环境成本密切相关。从数量上看,宏观环境成本应接近该国家或区域中所有个体组织的微观环境成本之和。

1.1.2 国内环境成本的定义

国内关于环境成本的研究始于20世纪90年代初,以1992年葛家澍教授发表的《九十年代西方会计理论的一个新思潮—绿色会计理论》为代表^[15]。由于研究视角和研究目的不同,国内学者对环境成本的定义亦尚未统一,可以大致归纳为环境会计方向和环境管理方向。(1)环境会计方向:环境成本是指企业在生产经营活动中对环境造成不利影响而承担的一系列支出,包括自然资源耗减费用、环境预防和环境破坏后的治理费用以及环境损害赔偿费用^[16~22]。(2)环境管理方向:环境成本是指企业在生产过程中造成的环境污染而承担的损失和为治理环境所产生的费用^[23~27]。此类定义在理论上可以将企业的环境成本纳入其会计核算中,抵减企业的当期利润,但在实践中,与企业会计核算仍然缺乏一定的联系。

1.1.3 环境成本定义述评

环境成本定义是研究环境成本核算和量化的基础。从上述研究可以看出,国内外学者对环境成本概念的界定都与行业特点、研究对象相结合,大多是从资源耗减、环保支出、成本费用角度对环境成本进行界定。很少有从成本量化的角度对环境成本进行定义。基于本文研究对象及目标,矿山环境成本是指矿山企业在生产过程中产生的并能够量化的主要污染物的治理成本,其核心要素包括污染物的量、浓度以及单位处理费用等。

1.2 关于水环境成本量化

根据研究视角不同,水环境成本量化可以分成

三类:一是以水环境污染造成损害的价值作为计量的基础;二是以预防水环境污染而采取的措施作为计量的基础;三是以水环境污染治理和损害补偿为计量的基础。根据计量方法不同,水环境成本量化也可以分为三类,即直接市场法、替代市场法和数学模型法。此外,还有投标博弈法、意愿调查定价法和第三方裁定法等,见表1所示。

1.2.1 直接市场法

直接市场法是直接用市场价格计算水环境污染所带来的经济损失,包括市场价值法、防护费用法、恢复费用法和人力资本法等。代表性的研究有:郑易生基于市场价值法和人力资本法,计算出20世纪90年代中期中国水环境污染造成的货币价值损失占全部损失的比重为76.20%^[28]。Chang Yongguan运用人力资本法计算了重庆水污染的环境成本约为其生产总值的1.20%^[29]。此外,王艳^[30]基于恢复费用法、王京芳^[31]基于市场价值法、邢智慧^[32]基于防护费用法、王佳男^[33]基于防护和恢复费用法对水污染经济损失分别进行了计量。由此可知,无论是宏观层面还是微观层面的水环境成本,直接市场法是一种比较好的量化方法。

1.2.2 替代市场法

替代市场法又称间接市场法,依据替代品的市场价值间接衡量水环境成本的价值,包括资产价值法、工资差额法和旅行费用法等。代表性的研究有:McConnell采用旅行费用法对新贝德福德海湾地区水环境成本进行估算^[34]。沈菊琴在资产价值法的基础上,从理论上建立了水资源资产价值替代评估模型^[35]。高鑫运用物元分析和替代市场法计算出西安浐灞生态区水资源总价值量为 6.26×10^3 万元^[36]。

1.2.3 数学模型法

目前使用最广泛的是运用数学模型对水环境成本进行计量,包括投入产出模型、模糊数学模型、浓度-价值损失率法和索洛方程法等。代表性的研究有:Jasch运用投入产出模型估算出2004年奥地利某啤酒厂废水环境成本为333900.00欧元^[37]。

A. Martinez 在欧盟公民用水框架指令 (Water Framework Directive, WFD) 的基础上编制水环境成本估算程序, 计算了加泰罗尼亚内陆盆地的福克斯河流域水资源环境成本一年约为 180 万欧元^[38]。Jalon 提出基于污染者付费原理流量调节水环境成本的评估方法, 并应用于西班牙、英国和挪威各流

域水环境成本计量^[39]。刘晨运用浓度-价值损失率法计算 1993 年珠江流域水污染造成的经济损失为 29.37 亿元^[40]。杨丹辉基于损害的环境污染损失核算方法, 得出山东省 5 年内水污染经济损失从 2000 年的 50.72 亿元上升至 2005 年的 356.98 亿元^[41]。

表 1 水环境成本核算方法
Table 1 Water environment cost accounting methods

计量方法	计算公式	说明
市场价值法 (生产率变动法)	$WEC=P_{\text{水}}\times Q$	WEC :水环境成本; $P_{\text{水}}$:受污染的水资源市场价格; Q :水资源污染量。
机会成本法	$WEC=UC\times Q$	UC :单位机会成本。
防护费用法 (预防支出法)	—	根据具体防护措施而定,主观性较强。为了减少或消除环境污染而支付的费用。
直接市场法 恢复费用法 (重置成本法)	$WEC=UP\times Q\times C_{\text{水}}/T$	UP :废水的单位当量成本; $C_{\text{水}}$:废水中污染物浓度; T :污染物的单位当量值。
影子工程法 (替代工程法)	$WEC=f(X_1, X_2, \dots X_n)$	X_i :水环境污染替代工程中各项目的建设费用。
人力资本法 (收入损失法)	$WEC=\sum I_i\times N_i\times (S+M+W)$	I_i :水污染引起的 i 种疾病发病率增加值; N_i :受污染的人口数; S :因死亡造成的工资损失; M :因病造成的医疗支出; W :因误工造成的工资损失。
资产价值法 (舒适性价格法)	—	当其他因素不变时,以水环境质量恶化引起资产价值的变化额来估计水环境污染所造成的经济损失。
替代市场法 后果阻止法	—	水环境污染严重且无法逆转时,通过增加投入或支出额来减轻或抵消因水环境恶化而导致的后果。
旅行费用法	—	用于估算风景区水环境污染造成的经济损失。
工资差额法	—	从事水环境污染严重的工作时,厂商从工资、工时、休假等方面对劳动者损失而给予的补偿。
投入产出模型	IO 模型、IOE 模型、CGE 模型	计算投入和产出量,得出水环境污染所带来的损失。
模糊数学模型	—	先计算水环境污染价格指数,然后根据专家问卷法得出水环境污染综合评价标准,再计算水环境污染经济价值损失。
数学模型法 浓度-价值 损失率法	$WEC=R\times Q\times (W_{\text{总}}-W_{\text{允}})^K$	R :单位水资源价值与污染损失的系数; $W_{\text{总}}$:估算区域主要污染物排放量; $W_{\text{允}}$:估算区域主要污染物允许排放量; K :无量纲参数。
索洛方程法	$WEC=L_1\times r\times (\lambda_1-\lambda_0)$	L_1 :可持续发展模式下的末期劳动投入总量; r :环保投入对经济增长的贡献率; λ_1 :传统模式下的末期生产率; λ_0 :传统模式下的基期生产率。
其他计量方法:投标博弈法、意愿调查定价法、第三方裁定法(政府认定法、法院裁定法)、成果参照法等。		

注:根据环境成本核算的文献整理得出;“—”表示无统一的计算公式;水环境成本(Water Environmental Cost, WEC)。

由此可知:(1)上述水环境成本量化的方法主要用于核算河流流域水环境污染和某地区水环境污染经济损失,少数用于计算行业生产过程中废水

污染损失,在矿山项目中水环境污染经济损失的核算更为少见;(2)计算得出的水环境成本很少纳入企业的成本效益分析中。基于此,本文选取离子型

稀土矿山水环境成本进行研究,将水环境成本量化并可以纳入现金流量表,为离子型稀土矿山水环境成本核算提供依据。

2 水环境污染经济损失原理及评估模型建立

2.1 水环境污染经济损失原理

L. D. James 在其著作《水资源规划经济学》中提出了估算水环境污染损害费用的浓度-污染损失模型,并认为水环境污染物所引起的经济价值损失与污染物浓度之间存在“S”型关系^[42],见图 1 所示。

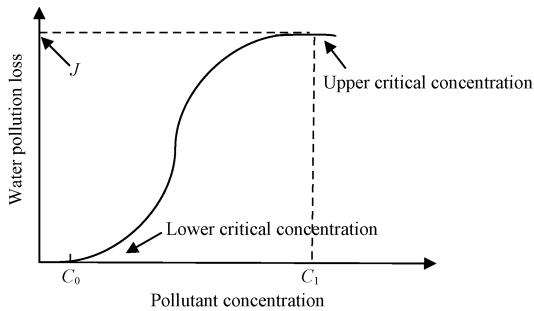


图 1 水环境污染经济损失与污染物浓度的关系

Fig. 1 Relationship between economic loss of water environment pollution and pollutant concentration

由图 1 可知,当污染物浓度小于 C_0 时,由于水资源存在自我净化功能,此时不会对环境造成污染,也不会造成经济损失;当污染的排放超过了水资源的自我净化能力之后,随着污染物浓度的不断上升,水资源污染所带来的经济损失在一定范围内不断增加,增加的速率先快后慢;当污染物浓度上升到一定程度 C_1 后,水污染经济损失趋于极限值 J ,此时水环境污染极为严重,完全不能利用。由此可见,水环境污染所带来的经济损失与水中污染物浓度密切相关,在超过水资源自我净化能力的情况下,会表现出外部不经济性,从而产生水环境损害成本。

根据水环境污染经济损失原理,结合水环境成本量化方法,引起水环境污染经济价值损失的主要

原因是:水资源受到污染后,引起其价值的降低或丧失,进而表现出水资源耗竭成本和水环境损害成本。因此,在计算水环境污染经济损失时,应考虑三个因素:(1)水资源污染量;(2)单位水资源价值量;(3)水资源污染物浓度。

2.2 离子型稀土矿山水环境污染损失模型

2.2.1 研究对象

稀土矿山堆浸、地浸工艺给环境带来了极大的污染和破坏,在被禁止使用后普遍采用原地浸矿工艺,但仍不可避免产生氨氮、硫酸根等污染物,给水环境带来了污染损失。祝怡斌等指出,原地浸矿工艺采用硫酸铵作为浸矿液,浸矿液渗入地下会引起地下水氨氮等浓度增加,造成水体污染^[43]。原地浸矿采场母液渗漏到地下水,伴随着地下水的流动,会造成地势较低的水层中出现氨氮超标等水质污染。根据地下水动力学理论,由于原地浸矿的浸矿液通过注液孔向矿层注入后,最终渗浸的范围会局限在一个稳定的渗透锥体内。而且地下水在流动带缓慢作侧向运动,一般在山脚以泉、渗流等形式泄出地表或汇入地表水^[44]。因此,离子型稀土矿山水环境污染主要表现为地表水环境污染损失。

2.2.2 投产期离子型稀土矿山水环境污染损失模型

离子型稀土矿山废水的主要污染物是氨氮、硫酸根等,治理废水需要在地势低的地方建造污水处理站,对离子型稀土矿山产生的废水进行处理,达标后用于循环利用或直接排放。基于废水排放标准以及离子型稀土矿山废水处理工艺特点,建立投产期水环境污染损失模型:

$$WEC = P \times Q \times (C - C_0) / C_0 \tag{1}$$

式中: WEC 为投产期水环境成本(万元/年); P 为污水处理站单位处理费用(元/立方米); Q 为废水量(万立方米/年); C 和 C_0 分别为主要污染物的实际排放浓度和最高允许排放标准浓度(mg/L)。

2.2.3 矿山全寿命周期水环境成本模型

根据矿山服务年限以及在基建期建造污水处理站的费用,建立全寿命周期水环境成本模型:

$$F = WEC \times (N - n) + F_{\text{站}} \tag{2}$$

式中： F 为全寿命周期水环境成本(万元)； N 为矿山服务年限(年)； n 为基建期年数(年)； $F_{\text{站}}$ 为建造污水处理站的费用(万元)。

3 模型应用

在稀土矿山开采中,原地浸矿虽然比池浸、地浸工艺对生态环境的破坏程度较小,但浸矿剂的渗漏及在雨水的淋滤作用下,亦会造成地表水酸化、pH 值下降以及 NH_4^+ 超标等^[45]。鉴于此,选取赣南地区 12 个离子型稀土矿山为研究对象,对其生产规模和水文地质进行考察,并收集矿山所产生的废水量、废水中主要污染物浓度等数据,计量其水环境成本。

3.1 数据来源及参数确定

3.1.1 污水处理站单位处理费用 P

关于稀土矿山废水治理成本,龙南县矿产资源管理局给出治理 1 吨废水需 4~6 元成本。南京亿之源环保科技有限公司数据:处理 1 吨废水,运行费用(电费、药剂费)需 5~7 元。王佳男^[33] 计算出铜硫矿中处理每吨废水的费用为 5.5 元。本文根

据矿山污水处理站的维护、管理等成本及废水中氨氮的含量,确定离子型稀土矿山污水处理站单位处理费用 P 为 5.7 元/立方米。

3.1.2 废水量 Q

根据《赣州稀土矿业有限公司赣州稀土矿山整合项目(一期)环境影响报告书》(以下简称“环境影响报告书”)中关于 12 个离子型稀土矿山水文地质条件,以及各矿山原地浸矿采场注液渗漏量和截渗井渗漏量来确定。

3.1.3 实际排放浓度 C 和最高允许排放标准浓度 C_0

环境影响报告书显示,地表水主要超标因子为氨氮和 pH。因此,本文选取主要污染物为氨氮。废水经污水处理站处理后,水中氨氮浓度可达到《稀土工业污染物排放标准》(GB 26451—2011)的直接排放标准(即 $C_0 = 15 \text{ mg/L}$),排入地表水体经河流混合稀释后,可使地表水体达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅲ类标准限值。

3.2 计算结果

利用式(1)计算得到 12 个离子型稀土矿山的水环境成本,见表 2 所示。

表 2 离子型稀土矿山水环境成本						
Table 2 Water environment cost of twelve ion-adsorption rare earth mines						
No.	PC /(t/year)	P /(Yuan/m ³)	Q /(10 ⁴ m ³ /year)	C /(mg/L)	WEC /(10 ⁴ Yuan/year)	WEC/PC /(10 ⁴ Yuan/t)
A1	2500	5.7	29.77	546.79	6015.93	2.41
A2	600		10.62	543.75	2133.82	3.56
A3	600		10.51	660.43	2577.72	4.30
A4	600		10.59	724.61	2855.61	4.76
A5	500		8.81	519.78	1689.90	3.38
A6	500		8.84	561.52	1835.87	3.67
A7	100		1.77	595.37	390.36	3.90
A8	300		5.31	610.37	1201.34	4.00
A9	300		5.29	593.96	1163.83	3.88
A10	500		8.87	628.29	2067.16	4.13
A11	300		5.33	580.12	1144.59	3.82
A12	150		2.65	559.73	548.54	3.66

注:A1 为裸脚式稀土矿,A2~A12 为全覆式稀土矿;生产规模(Production Capacity,PC),折合 92%混合稀土氧化物(REO)。

由表 2 可知,(1)水环境成本最高的是 A1 稀土矿(6015.93 万元/年),最低的是 A7 稀土矿(390.36 万元/年);原因是其生产规模存在较大差异,矿山生产规模越大,水环境成本越高。(2)每生产 1 吨 REO 所需承担的水环境成本是 2.41~4.76 万元,均值为 3.79 万元,即生产 1 吨 REO 所需的水污染治理成本约为 3.79 万元。由此可见,稀土生产对环境极具负外部性,将环境成本纳入生产成本才能体现稀土的真实成本和矿山企业的真实利润。(3)全覆式稀土矿水环境成本平均为 3.91 万元/吨,裸脚式稀土矿则为 2.41 万元/吨,前者约为后者的 1.62 倍。主要原因是其水文地质和矿体赋存条件不同,浸矿剂泄漏量也不同,所产生的废水量存在差异。(4)11 个全覆式稀土矿水环境成本与生产规模的比值为 3.38~4.76 万元/吨,裸脚式稀土矿则为 2.41 万元/吨。

3.3 生产规模与水环境成本的关系

根据表 2 及分析结果,离子型稀土矿山水环境成本主要取决于矿体赋存条件和生产规模。因此,

区分全覆式稀土矿和裸脚式稀土矿,分别探究其生产规模与水环境成本之间的关系。

3.3.1 全覆式稀土矿

根据表 2 中 A2~A12 全覆式稀土矿生产规模和水环境成本数据,利用 Eviews8.0,绘制散点图,发现其呈高度线性关系。基于加权最小二乘法(Weighted Least Squares, WLS),建立回归模型,得到全覆式稀土矿 WEC 与 PC 之间的关系为:

$$WEC = - 68.4285 + 4.1075 \times PC$$

(-3.4130)

(61.4285)

$$R^2 = 0.9976 \quad D.W = 2.1667$$

由式(3)可知,PC 的 *t* 值为 61.4285,在 1% 水平下显著,表明水环境成本与矿山生产规模呈高度正相关关系。当生产规模增加 1 吨时,全覆式稀土矿水环境成本增加 4.1075 万元。在对全覆式稀土矿进行环境影响评价时,为了更加便捷地测算出水环境成本,利用式(3)编制了全覆式稀土矿不同生产规模下水环境成本速查表,见表 3 所示。

表 3 全覆式稀土矿水环境成本速查表

Table 3 Quick look-up table for WEC of fully-covered type rare earth mines

PC	WEC	PC	WEC	PC	WEC
/(t/year)	/(10 ⁴ Yuan/year)	/(t/year)	/(10 ⁴ Yuan/year)	/(t/year)	/(10 ⁴ Yuan/year)
100	342.32	450	1779.95	800	3217.57
150	547.70	500	1985.32	850	3422.95
200	753.07	550	2190.70	900	3628.32
250	958.45	600	2396.07	950	3833.70
300	1163.82	650	2601.45	1000	4039.07
350	1369.20	700	2806.82	1500	6092.82
400	1574.57	750	3012.20	2000	8146.57

3.3.2 裸脚式稀土矿

根据表 2 中 A1 裸脚式稀土矿 9 个母液生产车间生产规模和水环境成本数据,利用 Eviews8.0,绘制散点图,发现其呈高度线性关系。基于 WLS,建立回归模型,得出裸脚式稀土矿 WEC 与 PC 之间的关系为:

$$WEC = - 35.7395 + 2.5327 \times PC$$

(-1.7749)

(29.4115)

$$R^2 = 0.9920 \quad D.W = 2.1403$$

由式(4)可知,PC 的 *t* 值为 29.4115,在 1% 水平下显著,表明在裸脚式稀土矿中,水环境成本与矿山生产规模呈高度正相关关系。当生产规模增

加 1 吨时,裸脚式稀土矿水环境成本增加 2. 5327 万元。由此,编制了裸脚式稀土矿不同生产规模下水环境成本速查表,见表 4 所示。

表 4 裸脚式稀土矿水环境成本速查表

Table 4 Quick look-up table for WEC of barefoot type rare earth mines

PC	WEC	PC	WEC	PC	WEC
/(t/year)	/(10 ⁴ Yuan/year)	/(t/year)	/(10 ⁴ Yuan/year)	/(t/year)	/(10 ⁴ Yuan/year)
100	217. 53	450	1103. 98	800	1990. 42
150	344. 17	500	1230. 61	850	2117. 06
200	470. 80	550	1357. 25	900	2243. 69
250	597. 44	600	1483. 88	950	2370. 33
300	724. 07	650	1610. 52	1000	2496. 96
350	850. 71	700	1737. 15	1500	3763. 31
400	977. 34	750	1863. 79	2000	5029. 66

3. 3. 3 两种赋存形式的离子型稀土矿

根据式(3)和式(4)可知,两种赋存形式的离子型稀土矿水环境成本核算是存在差异的。本文也综合分析了水环境成本与生产规模之间的关系,发现其整体比单独线性关系显著性更弱。因此,在离子型稀土矿山水环境成本核算时,全覆式稀土矿推荐利用式(3)计算或表 3 速算,而裸脚式稀土矿推荐利用式(4)计算或表 4 速算。

3. 3. 4 讨论

赣南地区 12 个离子型稀土矿山水环境成本计算结果表明,矿山生产规模越大,其水环境成本越高。A1 稀土矿生产规模最大(2500 吨/年),其水环境成本为 6015. 93 万元/年;A7 稀土矿生产规模最小(100 吨/年),其水环境成本为 390. 36 万元/年。矿山生产规模的不同,使得水环境中主要污染物实际排放浓度 C 和废水量 Q 存在差异。裸脚式稀土矿和全覆式稀土矿水环境成本与生产规模的比值分别为 2. 41 万元/吨和 3. 91 万元/吨,两种不同赋存形式的离子型稀土矿,其水文地质和矿体赋存条件也存在差异。

赣南地区离子型稀土矿山水环境成本与生产规模的分析结果表明,矿山生产规模的扩大,对于两种不同赋存形式的离子型稀土矿山,其水环境成

本的单位增量是不同的,因此核算时需要进行区分。分别编制的裸脚式稀土矿和全覆式稀土矿在不同生产规模下水环境成本速查表,为估算离子型稀土矿山水环境成本提供了便利。

本文的离子型稀土矿山水环境污染经济损失模型,是从成本量化角度,以水环境污染经济损失原理和水环境成本量化为理论基础构建的。目前,从成本量化角度对环境成本进行核算的研究中,少数从公路超限运输对环境的破坏^[46]、校园停车搜索中燃料的浪费和排放的增加对环境的污染^[47]、未铺地面道路扬尘造成的环境损害^[48]等对环境成本进行量化。本文对离子型稀土矿山水环境成本进行量化研究既是离子型稀土矿山环境成本方面,又是单一的水环境成本量化研究方面,丰富了现有离子型稀土矿山水环境成本量化方法。通过实际应用有利于提高离子型稀土项目投资决策质量、有利于矿山环境保护和离子型稀土真实生产成本和真实价格的形成。

本文的不足之处在于:在离子型稀土矿山生产规模与水环境成本的研究中,虽然两者之间的线性关系比较明显,但矿山数据较少,可能两者之间还存在着其他非线性关系。此外,本文的研究只局限于赣南地区离子型稀土矿山水环境成本量化。在

今后的研究中,应该考虑研究对象之间相关关系的多样性,水环境成本量化的研究也应该考虑碳酸稀土等其他矿种。

4 结论

1. 以离子型稀土矿山水环境成本量化为研究视角,构建了水环境污染损失模型并测算出各矿山水环境成本。赣南地区 12 个离子型稀土矿山水环境成本最低为 390.36 万元/年,最高为 6015.93 万元/年。矿山生产规模的大小决定了氨氮使用量和矿山废水量。在相同单位生产规模下,全覆式稀土矿水环境成本约为裸脚式稀土矿的 1.62 倍。离子型稀土矿山的矿体赋存状态在一定条件下决定了浸矿剂的渗漏量,从而影响水环境成本大小。

2. 通过水环境成本与生产规模的比值,研究了不同矿体赋存状态下生产规模与水环境成本之间的关系,给出了两个计算公式。当生产规模增加 1 吨时,全覆式稀土矿水环境成本增加 4.1075 万元,裸脚式稀土矿水环境成本增加 2.5327 万元。即对于不同矿体赋存形式的离子型稀土矿山,其水环境成本核算应作区分。

3. 编制了全覆式稀土矿和裸脚式稀土矿在不同生产规模下水环境成本速查表,为离子型稀土矿山水环境成本估算和环境影响经济损益分析提供了极大便利。

参考文献:

[1] 聂桂生,谢玫,靳向兰,曹型荣.北京城市用水系统的水资源-环境-经济投入产出模型的研究[J].数量经济技术经济研究,1986,(11):52-58.
Nie G S,Xie M,Jin X L,Cao X R. Research on the input-output model of water resources-environment-economy in Beijing urban water system [J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics,1986,(11):52-58.

[2] 夏光,赵毅红.中国环境污染损失的经济计量与研究[J].管理世界,1995,(6):198-205.
Xia G,Zhao Y H. Economic measurement and research on environmental pollution loss in China [J]. Manage-

ment World,1995,(6):198-205.

[3] 王喜莲.建设“生态文明”环境成本量化体系矿区[J].中国矿业,2008,(4):44-46.
Wang X L. Constructing quantitative system of environmental cost of “ecological civilization” [J]. China Mining Magazine,2008,(4):44-46.

[4] 万林葳,朱学义.环境成本计量模型研究综述与展望[J].财会月刊,2010,(27):88-89.
Wan L W,Zhu X Y. Study on environmental cost measurement model [J]. Finance and Accounting Monthly,2010,(27):88-89.

[5] Beams F A, Fertig P E. Pollution control through social cost conversion [J]. The Journal of Accountancy,1971,77(11):37-42.

[6] Marlin J T. Accounting for pollution [J]. The Journal of Accountancy,1973,135(2):41-46.

[7] 梅怡,章道云,熊青.环境成本界定研究综述[J].财会通讯,2011,(5):61-63.
Mei Y,Zhang D Y,Xiong Q. Study on environmental cost definition [J]. Communication of Finance and Accounting,2011,(5):61-63.

[8] 陈毓圭.环境会计和报告的第一份国际指南联合国国际会计和报告标准政府间专家工作组第 15 次会议记述[J].会计研究,1998,(5):2-9.
Chen Y G. The first international guide to environmental accounting and reporting: The 15th meeting of the intergovernmental working group of experts on international standards of accounting and reporting [J]. Accounting Research,1998,(5):2-9.

[9] 王月欣.日本环境会计指南的特色与借鉴[J].商业研究,2010,(11):188-190.
Wang Y X. Characteristic and reference on Japanese environmental accounting guidelines [J]. Commercial Research,2010,(11):188-190.

[10] 曾尚梅,王娟娟,刘文丽.试析企业环境成本[J].财会月刊,2007,(32):73-75.
Zeng S M,Wang C J,Liu W L. Study on enterprise environmental cost [J]. Finance and Accounting Monthly,2007,(32):73-75.

[11] Nestor D V, Jr C A P. CGE model of pollution abatement processes for assessing the economic effects of

- environmental policy [J]. *Economic Modelling*, 1995, 12(1):53-59.
- [12] Pretty J N, Mason C F, Nedwell D B, Hine R E, Leaf S, Dils R. Environmental costs of freshwater eutrophication in England and Wales [J]. *Environmental Science & Technology*, 2003, 37(2):201-208.
- [13] Atkinson G, Mourato S. Environmental cost-benefit analysis [J]. *Annual Review of Environment & Resources*, 2008, 33(33):317-344.
- [14] Antonini C, Argilés-Bosch J M. Productivity and environmental costs from intensification of farming. A panel data analysis across EU regions [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 140:796-803.
- [15] 葛家澍, 李若山. 九十年代西方会计理论的一个新思潮-绿色会计理论[J]. *会计研究*, 1992, (5):1-6.
- Ge J S, Li R S. A new trend of thought in western accounting theory in the 1990s: Green accounting theory [J]. *Accounting Research*, 1992, (5):1-6.
- [16] 郭道扬. 绿色成本控制初探[J]. *财会月刊*, 1997, (5):3-7.
- Guo D Y. Study on green cost control [J]. *Finance and Accounting Monthly*, 1997, (5):3-7.
- [17] 王立彦. 环境成本核算与环境会计体系[J]. *经济科学*, 1998, (6):53-63.
- Wang L Y. Environmental cost accounting and environmental accounting system [J]. *Economic Science*, 1998, (6):53-63.
- [18] 王立彦. 环境成本与 GDP 有效性[J]. *会计研究*, 2015, (3):3-11.
- Wang L Y. Environmental cost and GDP effectiveness [J]. *Accounting Research*, 2015, (3):3-11.
- [19] 朱学义. 我国环境会计初探[J]. *会计研究*, 1999, (4):26-30.
- Zhu X Y. Environmental accounting in China [J]. *Accounting Research*, 1999, (4):26-30.
- [20] 肖序. 建立环境会计的探讨[J]. *会计研究*, 2003, (11):31-33.
- Xiao X. Establish environmental accounting [J]. *Accounting Research*, 2003, (11):31-33.
- [21] 徐玖平, 蒋洪强. 企业环境成本计量的投入产出模型及其实证分析[J]. *系统工程理论与实践*, 2003, (11):36-41.
- Xu J P, Jiang H Q. The input-output accounting model and example analysis for company's environmental cost [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2003, (11):36-41.
- [22] 袁广达. 我国工业行业生态环境成本补偿标准设计-基于环境损害成本的计量方法与会计处理[J]. *会计研究*, 2014, (8):88-95.
- Yuan G D. Design of ecological environment cost industry compensation standard in our country: Measurement method based on the environmental damage cost and accounting treatment [J]. *Accounting Research*, 2014, (8):88-95.
- [23] 李连华, 丁庭选. 环境成本的确认和计量[J]. *经济经纬*, 2000, (5):78-80.
- Li L H, Ding T X. Recognition and measurement of environmental costs [J]. *Economic Survey*, 2000, (5):78-80.
- [24] 王跃堂, 赵子夜. 环境成本管理: 事前规划法及其对我国的启示[J]. *会计研究*, 2002, (1):54-57.
- Wang Y T, Zhao Z Y. Environmental cost management: Prior planning method and enlightenment to China [J]. *Accounting Research*, 2002, (1):54-57.
- [25] 张杰, 李玉萍, 景崇毅. 基于环境质量成本模型的企业环境成本管理研究[J]. *软科学*, 2005, 19(6):49-51.
- Zhang J, Li Y P, Jing C Y. The research on environmental cost management in enterprises based on environmental quality model [J]. *Soft Science*, 2005, 19(6):49-51.
- [26] 张杨, 王剑虹, 仲艳平. 环境成本管理理论述评[J]. *财会通讯*, 2010, (9):118-120.
- Zhang Y, Wang J H, Zhong Y P. Environmental cost management theory [J]. *Communication of Finance and Accounting*, 2010, (9):118-120.
- [27] 秦昌波, 葛察忠, 刘倩倩, 苏洁琼, 王金南. 中国煤炭环境成本内部化的经济影响分析[J]. *中国环境科学*, 2018, 38(2):745-754.
- Qin C B, Ge C Z, Liu Q Q, Su J Q, Wang J N. Economic impacts of environmental cost internalization of coal in China [J]. *China Environmental Science*, 2018, 38(2):745-754.

- [28] 郑易生, 阎林, 钱慧红. 90年代中期中国环境污染经济损失估算[J]. 管理世界, 1999, (2): 189-197.
Zheng Y S, Yan L, Qian Y H. Estimation of economic loss of China's environmental pollution in the Mid-1990s [J]. Management World, 1999, (2): 189-197.
- [29] Yongguan C, Seip H M. The environmental cost of water pollution in Chongqing, China [J]. Environment & Development Economics, 2001, 6(3): 313-333.
- [30] 王艳, 王倩, 赵旭丽, 孙英兰, 许扬, 李彦. 山东省水环境污染的经济损失研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(2): 83-87.
Wang Y, Wang Q, Zhao X L, Sun Y L, Xu Y, Li Y. Studies on the economic losses caused by water pollution in Shandong [J]. China Population Resources and Environment, 2006, 16(2): 83-87.
- [31] 王京芳, 陶建宏, 张蓉. 基于生命周期的企业环境成本核算研究及实例分析[J]. 科技进步与对策, 2008, 25(8): 46-50.
Wang J F, Tao J H, Zhang R. The research of enterprise environmental costs calculation based on life cycle and example analysis [J]. Science & Technology Progress and Policy, 2008, 25(8): 46-50.
- [32] 邢智慧, 蔡梅, 蔡文婷. 基于水资源核算的太湖流域水环境退化成本分析[J]. 水资源保护, 2015, 31(5): 62-66.
Xing Z H, Cai M, Cai W T. Study on water environmental degradation cost in Taihu basin based on water resources accounting [J]. Water Resources Protection, 2015, 31(5): 62-66.
- [33] 王佳男, 郑明贵, 梁宏波, 万懿锋, 徐冰. 矿业项目环境成本计量模型研究[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(11): 1334-1339.
Wang J N, Zheng M G, Liang H B, Wan Y F, Xu B. Measurement model research on environmental cost of mining project [J]. Resource Development & Market, 2017, 33(11): 1334-1339.
- [34] McConnell K E. "The damage to recreational activities from PCBs in new bedford harbor" report prepared by industrial economics [R]. Inc Cambridge, 1986.
- [35] 沈菊琴, 郭孟卓, 万隆, 丁金宏. 水资源资产价值评估的替代法研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2000, 28(3): 51-54.
Shen J Q, Guo M Z, Wan L, Ding J H. Study on substitution method for value appraisal of water resource assets [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2000, 28(3): 51-54.
- [36] 高鑫, 解建仓, 汪妮, 张建龙. 基于物元分析与替代市场法的水资源价值量核算研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(5): 224-230.
Gao X, Xie J C, Wang N, Zhang J L. Accounting the value of water resources based on the matter-element and alternative market method [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2012, 40(5): 224-230.
- [37] Christine Jasch. How to perform an environmental management cost assessment in one day [J]. Journal of Cleaner Production, 2006, 14(14): 1194-1213.
- [38] Martinez A, Uche J, Valero A, Valero-Delgado A. Environmental costs of a river watershed within the European water framework directive: Results from physical hydromonics [J]. Energy, 2010, 35(2): 1008-1016.
- [39] Jalon S G D, Tanago M G D, Alonso C, Jalón D G. The environmental costs of water flow regulation: An innovative approach based on the "polluter pays" principle [J]. Water Resources Management, 2017, 31(9): 2809-2822.
- [40] 刘晨, 伍丽萍. 水污染造成的经济损失分析计算[J]. 水利学报, 1998, (8): 43-46.
Liu C, Wu L P. Analysis and calculation of the economic loss caused by water pollution [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1998, (8): 43-46.
- [41] 杨丹辉, 李红莉. 基于损害和成本的环境污染损失核算-以山东省为例[J]. 中国工业经济, 2010, (7): 125-135.
Yang D H, Li H L. Environmental pollution loss accounting based on damage and cost: The case of Shandong province [J]. China Industrial Economics, 2010, (7): 125-135.
- [42] L D 詹姆斯, R R 李. 水资源规划经济学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
L D James, R R Lee. Water Resources Planning Economics [M]. Beijing: Water Resources and Electric

- Power Press, 1984.
- [43] 祝怡斌,周连碧,李青.离子型稀土原地浸矿水污染控制措施[J]. 有色金属(选矿部分),2011,(6):46-49.
- Zhu Y B, Zhou L B, Li Q. Water pollution prevention method for In-Situ leach mining of ion-absorbed rare-earth mineral [J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2011, (6): 46-49.
- [44] 汤洵忠,李茂楠.离子吸附型稀土矿原地浸析采矿法[J]. 矿业研究与开发,1997,17(2):1-4.
- Tang X Z, Li M N. In-Situ leach mining of ion-absorbed rare-earth mineral [J]. Mining Research and Development, 1997, 17(2): 1-4.
- [45] 刘斯文,黄园英,朱晓华,刘晓端.离子型稀土采矿对矿山及周边水土环境的影响[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(6): 25-32.
- Liu S W, Huang Y Y, Zhu X H, Liu X D. Environmental effects of ion-absorbed type rare earth extraction on the water and soil in mining area and its peripheral areas [J]. Environmental Science & Technology, 2015, 38(6): 25-32.
- [46] 王霞,张欢.公路超限运输环境成本量化研究[J]. 中外公路,2010,30(6):246-249.
- Wang X, Zhang H. Quantitative study on the environmental cost of highway over-limit transportation [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2010, 30(6): 246-249.
- [47] Guo L, Huang S, Sadek A W. A novel agent-based transportation model of a university campus with application to quantifying the environmental cost of parking search [J]. Transportation Research Part A Policy & Practice, 2013, 50(4): 86-104.
- [48] Aleadelat W, Ksaibati K. A comprehensive approach for quantifying environmental costs associated with unpaved roads dust [J]. Journal of Environmental Economics and Policy, 2018, 7(2): 130-144.

Quantitative Study on Water Environmental Cost of Ion-adsorption Rare Earth Mine

ZHENG Ming-gui^{1,2}, LUO Ting^{1*}

(1. Research Center of Mining Trade & Investment, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

2. The School of Management, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: The environmental cost accounting of mine projects has an important influence on investment decisions, which needs higher requirements for the standardization and reliability of environmental cost quantification. Water environment cost is the main environmental cost in the production process of rare earth mines. Taking the water environment cost of ion-adsorption rare earth mine as the study subject, the paper established the water environment pollution loss model to quantify the water environment cost of 12 ion-adsorption rare earth mines in southern Jiangxi. Moreover, the relationship between the production scale of ion-adsorption rare earth mine and the water environment cost was analyzed, two calculation formulas were given, so that a quick look-up table of the water environment cost under different production scales was compiled, according to the production scale of rare earth mines, the water environment cost can be found quickly, which provides great convenience for quantifying the water environment cost of ion-adsorption rare earth mine. The results showed that among the 12 ion-adsorption rare earth mine, the highest water environment cost is A1 rare earth mine (60.1593 million yuan per year), and the lowest is A7 rare earth mine (3.9036 million yuan per year). Under the same unit production scale, the environmental cost of fully covered type rare earth ore is 1.62 times as many as that of barefoot type rare earth mine. The results would provide a basis for cost accounting of ion-adsorption rare earth mine and are of great significance for the investment decision and production management of rare earth mines.

Key words: ion-adsorption rare earth mine; water environment; quantification of cost; southern Jiangxi province; loss of pollution