

基于生态安全理念的我国铀矿冶业可持续发展

吴莎莉,谭凯旋*

(南华大学 核资源与核燃料工程学院,湖南 衡阳 421001)

摘要:生态安全是矿业可持续发展的重要问题.铀矿冶工业是核工业和核电事业发展的基础,但是铀矿采冶对生态环境的影响也是较大的,主要包括尾矿与废石、废水、辐射影响等.本文通过分析生态安全与可持续发展的辩证关系,结合从生态安全角度对我国铀矿冶工业受制约因素的分析,就如何充分发挥生态安全理念对我国铀矿冶工业可持续发展的作用进行深入探讨.我国铀矿冶工业要实现可持续发展,必须从以下四个方面建立生态安全理念:树立生态安全管理观;树立科学生态安全观;树立生态安全投入观;树立生态安全责任观.

关键词:生态安全;可持续发展;铀矿采冶

中图分类号:TD868

文献标识码:A

On Sustainable Development of Uranium Mining Industry in China Based on the Concept of Ecological Security

WU Sha-li, TAN Kai-xuan*

(School of Nuclear Resources and Nuclear Fuel Engineering, University of South China,
Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: Ecological security is an important issue for sustainable development of mining industry, on which the development of nuclear industry and nuclear power is based. But uranium mining and processing has larger effect on ecological environment which mainly include tailings, waste rock, waste water, and radiation effects. In this paper, the dialectical relationship between ecological security and sustainable relationship is analyzed, the ecological safety concept at home and abroad is compared and the role that ecological safety plays in the sustainable development of uranium mining based on analysis of restricting factors on uranium mining in China from the perspective of ecological security is also probed into. To achieve sustainable development of the uranium mining industry in China,

收稿日期:2011-08-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50874063);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20094324110002)

作者简介:吴莎莉(1978-),女,湖南资兴人,核资源与核燃料工程学院硕士研究生,政工师.主要研究方向:铀矿冶安全与可持续发展.*通讯作者

an ecological security concept from four aspects must be established:1) the concept of ecological security management;2) the scientific concept of ecological security;3) the concept of ecological security investment;and 4)the concept of ecological security responsibility.

key words: ecology security; sustainable development; uranium mining industry

矿产资源是人类生产、生活和社会发展的物质基础,社会经济的发展以矿产资源消耗量的增长为基础,95%以上的一次性能源、80%以上的工业原料和70%以上的农业生产资料都取自矿产资源,因此矿业在社会和经济发展中占有重要地位。矿产资源是一种不可再生的自然资源,同时矿产资源的开发、加工和利用过程不可避免地要破坏和改变自然环境,产生各种各样的污染物质,对生态环境和人体健康带来直接的和间接的、近期或远期的不利影响。因此,矿业的可持续发展得到国际社会、各国政府和广大科研工作者的的高度重视^[1-7]。特别是近年来一些学者开始将工业生态概念引入采矿和矿物加工工业领域的可持续发展中^[8-9]。铀作为核电的重要原料,随着世界核电事业的发展,铀矿开采与加工业也进入了新的发展时期^[10],铀矿的采冶除了具有其它金属矿床开采的环境问题外,还具有放射性污染的危害。因此,铀矿采冶工业的可持续发展一直受到国际原子能机构、政府、科研人员和公众的高度重视,国际原子能机构经常召开相关的学术研讨会,出版技术文件,特别提出了铀矿采冶可持续发展的最佳实践原理^[11-12]。

随着我国国民经济的发展和电力的紧张以及CO₂减排的需要,国家对核电发展做出重大部署,明确“积极推进核电建设”的基本方针,我国进入核电建设大发展时期。核电建设的加快,将对核燃料天然铀产生巨大需求,因此也将加速铀矿采冶工业的发展。本文从生态安全的角度探讨我国铀矿冶工业的可持续发展。

1 生态安全的内涵及与可持续发展关系

生态安全为生物与环境协调的整体,生态安全是指生态系统的健康和完整情况,是人类赖以生存和发展的生态系统处于健康和可持续发展状态。生态安全是人类在生产、生活和健康等方面不受生态破坏与环境污染等影响的保障程度,包括饮用水与食物安全、空气质量与绿色环境等基本要素。健康的生态系统是稳定的和可持续的,在时间上能够维持它的组织结构和自治,以及保持对胁迫的恢复力。生态安全具有整体性、不可逆性、长期性的特点,包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态

安全,是一个复合人工生态安全系统。

生态安全的物质基础是生态系统。生物群落与其栖息环境,以及生物种群相互之间密切联系、相互作用,通过物质交换、能量转换和信息传递,成为占据一定空间、具有一定结构、执行一定功能的动态平衡整体,称为生态系统(ecosystem)。人类是生态相互作用复杂网络中的组成部分之一,人类的活动不能从整个生态系统的功能中分离,人类的健康取决于生态系统中其它组成的健康,生态系统的结构和功能是生态安全的焦点,因此任何工业活动必须不引起生态系统的灾难性破坏或缓慢降低它们的结构和功能,危及地球上的生命支持系统。因此人类要在地球上永久发展,就必须在人、自然和非人类物种之间建立和谐共处的关系。

按照生态经济学的观点,经济再生产的基础和前提是自然再生产。要实现经济社会的可持续发展,就必须保护自然再生产的能力,确保重点自然生态系统结构的完整性,保证自然生态系统具有良好的自我恢复和调节能力^[13]。因而,发展的物质基础是环境和资源,没有基本的生态安全,如空气污染、水污染、核污染等,以及因此引发的干旱、台风、泥石流、沙尘暴等自然灾害问题,就无从谈发展,可持续发展更是无源之水无本之木。同时,可持续发展也是保护生态环境的重要保证,确保生态环境的健康发展。两者相互依赖,相互促进,形成良性循环。

2 铀矿采冶领域的主要生态安全问题

2.1 尾矿与废石

在铀矿开采、加工和水冶过程中有大量的废石和尾矿产生。废石是巷道掘进和生产中挖出的围岩和不具工业价值的低品位矿石,尾矿是矿石经加工、水冶后的矿渣,由于铀矿石的品位一般很低,其尾矿量基本上等于采出的矿石量。一般来说,为提供1 000 MW(e)轻水堆所需的铀,每年将产生铀尾矿达 6×10^4 t。据不完全统计,全世界积存的铀废石达400多亿t、铀尾矿达200亿t;近几年,主要产铀国每年产生的铀尾矿量约数千万t。我国铀尾矿、废石场等固体废弃物堆存场地有

150 多处,仅江西、湖南和广东六个已退役铀矿山的铀尾矿量就已达到 $8.54 \times 10^6 \text{ t}^{[14]}$ 。

铀矿冶尾矿、废石属长寿命、低放射性固体废物,铀尾矿、废石含有 ^{238}U 、 ^{234}U 、 ^{230}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{222}Rn 、 ^{210}Po 、 ^{210}Pb 等核素,其表面析出的氡占邻近居民所受辐射剂量的80%以上,而且由于自然风化等作用,从铀废石、尾矿自然淋浸到水中各种放射性核素、非放元素与酸性水也是造成辐射剂量和危害的重要来源。由于铀已经被提取,因此通常铀尾矿中残留的铀不超过原矿石含量的10%,而铀原矿石中的铀系子体除了氦气及其短寿命子体在矿石的破碎、磨细、浸出和搅拌等过程中释放外,其余大部分都残留在尾矿内,几乎99%以上的 ^{230}Th 、 ^{226}Ra 等放射性核素都集中在尾矿中。由于尾矿中放射性元素的含量较高,且大多具有较长的半衰期,半衰期大于1 000 a的核素约占30%,如 ^{230}Th 、 ^{226}Ra 的半衰期分别为 47.7×10 和1 602 a,它们将长期衰变释放氦及其子体,构成了铀矿山长久的辐射环境潜在危害。大量铀尾矿和废石的堆积一方面侵占大量的土地造成土地荒芜、破坏植被;另一方面可通过5种方式对公众和生态环境造成污染和危害:1)析出的氡及其子体;2) γ 辐射;3)吸入或食入飞扬的粉尘;4)污染水体;5)生长在附近的植物富集的转移。

2.2 水体污染

铀矿山的污染废水来源包括矿坑(井)水、堆浸场、贮液池及堆浸尾矿场的废水等。矿坑水铀质量浓度达 $2.2 \sim 8.0 \text{ mg/L}^{[15]}$,不能直接外排。矿坑水除一部分用于水冶生产补充用水外,大部分需进行处理。近年来我国南方的硬岩型铀矿主要采用堆浸提铀,并主要采用酸法(硫酸)浸出,堆浸废水具有pH低、含放射性核素和重金属等多种污染物的特征。铀废石和尾矿内大都含有硫化物和磷化物,受雨水影响,雨水淋经废石场、尾矿库的渗出水往往呈酸性,有的pH值达2~3。呈酸性的渗滤水常含有较多的放射性核素和非放射有害物质,将污染地表水和地下水。大多数铀矿冶废石场、尾矿库都存在核素迁移污染地表水和地下含水层的势头。下伏浅层含水层已受到不同程度的污染。如果农田靠近铀废石场和尾矿库,还会污染农田。

原地溶浸采矿技术(In situ leaching mining,简称地浸)已被广泛应用于砂岩型铀矿的开采。地浸采矿是将溶浸液通过钻孔直接注入地下含矿岩层中,利用矿物与水溶液的化学反应来获取有

用金属和化合物。地浸采铀虽然对地表的生态环境破坏较小,但是对地下水的环境有严重影响(特别是我国主要采用酸法地浸),主要来自二个方面:一方面是向地下含矿层注入大量的溶浸试剂(H_2SO_4)、氧化剂,使含矿层地下水中试剂组分含量显著增高和超标,水酸度增大;另一方面,含矿层中的元素大量溶浸出来进入地下水中,使地下水的总矿化度增大,有害元素的含量也大大超标。一般地浸区地下水中显著超标的污染物有 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 H^+ 、 U 、 Al 、 Ca 、 Co 及某些重金属等,如我国某地浸采铀矿山终采后地下水污染成分如下:pH 2.1、 SO_4^{2-} 3 579 mg/L、 U 16 mg/L、 Fe^{3+} 412 mg/L、总矿化度 6 410 mg/L。

2.3 辐射及其生态影响

铀矿采冶除具有其它金属矿采冶的共同环境问题外,特别是具有辐射环境影响。在铀矿的开采与水冶中,铀尾矿、废石、废水和排风井废气都会带来放射性污染源,可造成铀矿山及邻近区域的地表水、地下水、土壤、水系沉积物等的放射性核素和其它有毒重金属的污染,并由此可造成对人、动物、水生物、植物和农作物等的放射性污染。

铀尾矿库中可以有大量的微生物活动和强烈的生物地球化学作用,如硫酸盐还原菌、铁还原菌、氢氧化菌、脱硝菌、真菌、希瓦氏菌(*Shewanella*)、假单胞菌、泛菌属、肠杆菌属、红环菌等,可称得上是一个细菌仓库,这些微生物的活动可引起尾矿库中的硫酸盐还原作用、硝化与反硝化作用并影响到铀、镭等放射性核素的还原、沉淀、再氧化释放与迁移。大量的研究表明,铀矿山及邻近区域受放射性污染的土壤和采用放射性污染的废水进行灌溉都可导致放射性核素向植物和农作物的迁移和富集,并可导致植物的死亡、农作物中核素超标和不可食用^[16-18]。一些学者研究了加拿大、美国、澳大利亚等地的一些铀矿区放射性污染对鱼、麝鼠(*Muskrat*)、蜗牛等脊椎和无脊椎动物的影响和富集特征,放射性污染物可在动物体内富集并产生基因毒性^[19-20]。

3 基于生态安全理念的我国铀矿冶业可持续发展的探讨

国外在铀矿山管理方面的生态安全理念已基本形成。比如加拿大和澳大利亚是主要的产铀国家,具有很长的勘查和采矿历史,生产着世界一半以上的铀。在铀矿山的安全政策和生态保护方面的研究处于世界领先水平。在矿山采冶的前期,大的生态安全环境观正在建立,政府要求矿业公司

拟定可行性研究报告,对场地周边的环境保护展开研究.在采冶经营的过程中,安全的管理观和职业观也不断强化.矿业公司在严格的国家卫生和放射性防护的实践法规下进行的.在矿山采冶经营的末期,对生态环境管理体系中,强化对生态安全投入观的实践和研究,对矿业公司经营完结时,通常是执行许多复垦项目,即尾砂用足够的黏土和土壤进行永久性覆盖,以减少伽马射线和氡气扩散的比率,这一项目投入的费用,来自于企业内部和政府补贴.国外当前从矿山筹建至采矿完结的整个过程中生态安全的理念已日渐成熟.

与国外铀矿冶企业生态安全理念相比,中国的铀矿冶工业生态安全理念显得十分薄弱,中国的铀矿冶工业生态安全理念还停留在粗浅的阶段,虽然也有一些较深层次的对生态安全的认识,但真正有理论根据的定性研究和规范的实证研究为数甚少;许多铀矿冶工业在塑造铀矿企业生态安全理念时主要是铀矿企业内部自己探讨,铀矿企业生态安全理念在实践中缺少真正的科学理论的指导,缺少个性,同时也难以对铀矿企业长期发展产生文化的推动力.应该借鉴国外铀矿冶业生态安全理念,发挥生态安全理念对中国铀矿冶业的作用,促进中国铀矿冶业的发展.

根据对国内外铀矿冶工业生态安全理念的了解和对国内铀矿冶工业可持续发展受制约的相关因素分析,当前,强化铀矿冶工业生态安全理念建设已成为我国铀矿企业适应未来日趋激烈的国际市场竞争的迫切任务.在铀矿冶业塑造安全文化的过程中,生态安全理念是重要内容之一.生态安全是系统完整性和健康的整体水平反映,因而,要充分发挥生态安全理念对铀矿冶业可持续发展的作用,笔者认为主要应树立生态安全管理观、生态安全科学观、生态安全投入观及生态安全责任观等一系列生态安全文化体系,以真正推动绿色铀矿山的发展建设.

1) 树立生态安全管理观.一是要从政府对铀矿冶工业的管理着手,从“源头”抓起,在铀矿冶工业在进行选矿勘查时,要展开矿山环境地质调查研究,在合理开发铀矿资源的同时为有效保护矿山环境提供科学依据;要制定实施铀矿山环境许可证制度,制度中明确规定铀矿企业在矿山生态环境保护 and 土地复垦等等方面的主要责任和要求,将这一许可证制度纳入铀矿山采冶的必备条件,对未取得环境许可证的铀矿冶企业不能进行矿山开发.并要建立矿山环境影响评价制度,即在

获得审批前均应开展环境背景研究,提交环境影响评价报告书,供有关政府部门审查批准.另要健全检查监督机制,加强对铀矿冶工业的矿山环境管理,严格查处违反各项环境保护规定的情况,行为严重的要采用强制执行措施.二是要从铀矿冶企业自身管理着手,在企业安全管理中强化生态安全意识,制定切实可行的矿山环境保护措施,严格按照规章制度排放和处置铀矿采冶产生的“三废”和实行土地复垦项目.对从事作业的矿工要加强职业安全与卫生管理.严格按照人体接受放射性剂量最低标准进行操作.

2) 树立科学生态安全观.一方面铀矿冶工业的管理层要切实树立大的生态安全观念,重视矿山环境保护,学会利用科学技术,综合研究,提高铀矿采冶的科学技术水平,提高铀矿资源采冶过程中共生矿、伴生矿的利用率,注重开展铀矿冶生产工艺、尾矿回收等研究,提高资源综合利用水平和环境效益,促进铀矿冶业朝循环经济和高效益开发方向发展.正如胡锦涛指出的:发展要坚持走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源得到充分发挥的道路.另一方面政府科学规划和管理,即要加快铀矿山生态环境保护立法,加大铀矿资源的开发利用和生态环境保护的立法,建立健全矿山环境保护的奖惩机制,建立生态环境恢复安全保障体系,又要统筹规划,坚持铀矿开发与环境保护并重,严格审批管理制度,对在建的铀矿山要针对生态环境保护与恢复治理编制专项规划,认真实施,要建立生态环境监督管理制等.

3) 树立生态安全投入观.真正制约着解决我国铀矿山生态安全问题的瓶颈应该是资金投入.在过去,我国在铀矿资源开发上一直遵循着“边生产、边治理”的原则,但在生态环境治理方面收效并不显著,且大部分是政府投入,要具体落实到某一方面解决某一铀矿冶工业的产生的生态环境问题则是相对紧张和有限的.当前,我们应该树立“谁破坏,谁治理”的原则,建立铀矿冶工业生态安全长效投入机制和生态环境保护与恢复治理补偿机制.现在我国正在实行的企业环境恢复治理保证金制度,对在生产 and 新建的矿山地质生态环境保护起到了较好督促作用.根据铀矿冶工业对大气、土壤、地下水及公众的放射性辐射污染,时间长,潜在危害大的特点,铀矿冶企业对生态环境污染的防治和恢复一定要舍得投入,从长远发展来看,对企业自身发展建设是有百利无一害的.

4) 树立生态安全责任观.这是生态安全文化

建设的最高层次,是生态安全文化建设的核心。比如当前一个很现实的问题摆在我们面前,在铀矿山开采后期,如何通过复垦减少矿山用地来保护生态环境。我国铀矿矿区土地复垦率为45%,处于一般的水平,因此要加强废弃矿山土地复垦及生态地质环境恢复治理工作,消除因采矿产生的自然生态地质环境问题。要解决此问题,首先要使企业认识到除了经济利益以外,还要承担相应的社会责任,矿区每年的矿产开采对土地的吞食量非常大,如果不及时把复垦抓起来,那么这个矿产开后当地老百姓就会失去土地。因而,要让生态安全理念真正在铀矿冶企业中发挥作用,生态安全理念的培育,必须从高层做起。使管理层真正意识到生态保护的现实意义和深远影响,从而影响到整个企业从规章制度制定到企业精神塑造,切实加强了对现有铀矿冶工业自动化改造、标准化建设,深入加强生态安全基础管理工作,实现安全生产型、资源节约型和环境友好型的绿色铀矿山建设和可持续发展。

4 结 论

生态安全是矿业可持续发展的基础,铀矿冶工业存在许多生态安全问题。我国铀矿冶工业要实现可持续发展,必须从以下四个方面建立生态安全理念:树立生态安全管理观;树立科学生态安全观;树立生态安全投入观;树立生态安全责任观。

参考文献:

- [1] Laurence D. Establishing a sustainable mining operation: an overview [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2011, 19:178-284.
- [2] Jeremy P Richards. Mining, society, and a sustainable world [M]. Berlin: Springer-Verlag, 2009.
- [3] Yearley D C. Sustainable development for the global mining and metals industry [J]. *Mining Engineering*, 2003, 55:45-48.
- [4] Chevalier P. Mining, metals and sustainable development/Global dialogue amongst governments [J]. *Canadian Mining Journal*, 2003, 124:25-26.
- [5] Hilson G, Basu A J. Devising indicators of sustainable development for the mining and minerals industry an analysis of critical background issues [J]. *The International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2003, 10:319-331.
- [6] 宋书巧,周永章. 矿业可持续发展的基本途径探讨 [J]. *矿业研究与开发*, 2002, 22(4):1-5.
- [7] 卓丽捷,谭凯旋. 衡阳市矿业经济可持续发展探讨 [J]. *南华大学学报(自然科学版)*, 2009, 23(2):26-31.
- [8] Basu A J, Zyl van D J A. Industrial ecology framework for achieving cleaner production in the mining and minerals industry [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2006, 14:299-304.
- [9] Corder G D, McLellan B C, Green S. Incorporating sustainable development principles into minerals processing design and operation; SUSOP [J]. *Minerals Engineering*, 2010, 23:175-181.
- [10] IAEA. Analysis of uranium supply to 2050 [M]. Vienna: STI/PUB/1104, 2001.
- [11] IAEA. Establishment of uranium mining and processing operations in the context of sustainable development [M]. IAEA Nuclear Energy Series NO. NF-T-1. 1, Vienna: 2009.
- [12] IAEA. Best practice in environmental management of uranium mining [M]. IAEA Nuclear Energy Series NO. NF-T-1. 2, Vienna: 2010.
- [13] 黄玉源,钟晓青. 生态经济学 [M]. 北京:中国水利水电出版社, 2009.
- [14] 吴桂惠,周星火. 铀矿冶尾矿、废石堆放场地的辐射防护 [J]. *辐射防护通讯*, 2001, 21(6):33-36.
- [15] 邓文辉,潘佳林,孙雪云,等. 江西某铀矿冶工程环境影响预测和评价 [J]. *铀矿冶*, 2004, 23(4):196-200.
- [16] Pereira R, Marques C R, Ferreira M J S, et al. Phytotoxicity and genotoxicity of soils from an abandoned uranium mine area [J]. *Applied Soil Ecology*, 2009, 42:209-220.
- [17] Velasco H, Ayub J J, Sansone U. Influence of crop types and soil properties on radionuclide soil-to-plant transfer factors in tropical and subtropical environments [J]. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2009, 100:733-738.
- [18] 易俗,王瑞兰,曹赐生,等. 铀冶炼厂附近水稻白菜茶柑桔食用部分中 ^{226}Ra ^{232}Th 和 Mn^{2+} Cd Cr Pb 的浓度 [J]. *农业环境保护*, 2002, 21(2):134-136.
- [19] Cooley H M, Klaverkamp J F. Accumulation and distribution of dietary uranium in lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) [J]. *Aquatic Toxicology*, 2000, 48:477-94.
- [20] Dewit T J, Clulow V, Dave N K, et al. Ra-226 in bone of mink (*Mustela vison*) and otter (*Lutra canadensis*) taken near U workings at Elliot Lake, Canada, and from reference areas, with calculation of transfer parameters [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2002, 68:878-84.